



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# LÄMMÖNTALTEENOTTO TOIJALAN JÄTEVEDENPUHDISTAMON JÄTEVEDESTÄ

Henri Leimu

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2016  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI



# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutus  
LVI-talotekniikka

LEIMU, HENRI:

Lämmöntalteenotto Toijalan jätevedenpuhdistamon jätevedestä

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 8 sivua  
Huhtikuu 2016

---

Opinnäytetyön aiheena oli lämmöntalteenotto Toijalan jätevedenpuhdistamon jätevedestä. Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy oli kiinnostunut toteuttamaan lämmöntalteenottojärjestelmän Toijalan jätevedenpuhdistamolle. Opinnäytetyössä tutkittiin, onko puhdistamolle tulevasta jätevedestä mahdollista ottaa lämpöä talteen ja käyttää sitä hyödyksi esimerkiksi puhdistamokiinteistön lämmitysjärjestelmässä.

Opinnäytetyössä pohdittiin, millä eri menetelmillä jätevedestä voidaan ottaa lämpöä talteen ja miten lämmöntalteenottojärjestelmä voidaan liittää nykyisen öljylämmitysjärjestelmän rinnalle sekä tutkittiin lämmöntalteenoton sijoitusta puhdistusprosessiin. Työssä tarkasteltiin myös materiaalien merkitystä lämmöntalteenottojärjestelmässä sekä erilaisia putkireittejä ja niiden kustannuksia. Lisäksi eri toteutusmenetelmistä piirrettiin esimerkkikytkentäkaaviot.

Jätevedessä on potentiaalisesti hyödynnettävää lämpöenergiaa, joka tällä hetkellä suurelta osin johdetaan suoraan vesistöihin. Nykyisellä lämpöpumpputeknologialla on mahdollista saada tämä matalassa lämpötilassa oleva lämpöenergia kerättyä ja uudelleen käytettyä. Lämmöntalteenotossa haasteena ovat kuitenkin jäteveden sisältämät epäpuhtaudet, jotka hankaloittavat lämmön keräämistä jätevedestä.

Opinnäytetyössä havaittiin, että Toijalan jätevedenpuhdistamolla lämpö tulisi ottaa talteen jälkiselkeytetystä jätevedestä, jolloin jätevesi luonnollisesti sisältää vähiten epäpuhtauksia. Tällöin lämmöntalteenotto ei myöskään häiritse jäteveden puhdistusprosessia, joka itsessään vaatii lämpöä toimiakseen optimaalisesti. Lämmöntalteenotto voidaan teoriassa toteuttaa kahdella eri menetelmällä: lämmönsiirtimellä tai altaaseen upotettavalla keruuputkistolla. Lämmönlähteiden yhdistäminen lämmitysjärjestelmään on myös mahdollista toteuttaa kahdella eri menetelmällä: energiavaraajalla tai öljykattilan sekä lämpöpumpun sarjaan kytkennällä.

---

Avainsanat: lämmöntalteenotto, jätevesi, jätevedenpuhdistamo

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC-Building Services

LEIMU, HENRI:

Heat Recovery from Wastewater Treatment Plant of Toijalas Wastewater

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 8 pages

April 2016

---

The subject of the thesis was heat recovery from wastewater treatment plant of Toijalas wastewater. Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy was interested to implement a heat recovery system for wastewater treatment plant of Toijala. The thesis investigated if there is any possibilities to recover heat from incoming wastewater and use it for example in the building heating system.

The thesis considers different methods on how heat can be recovered from wastewater and how heat recovery can be connected in parallel with the existing oil heating system. The thesis considers also the optimal place of the heat recovery in the cleaning process. The study examined the importance of the materials of the heat recovery system and different pipe routes and their costs. In addition, different methods of implementation were drawn as example wiring diagrams.

In wastewater there is potential thermal energy, which is currently largely passed directly into the environment. With the current heat pump technology, it is possible to get this low temperature thermal energy collected and reused. However, wastewater pollutants complicate the collection of heat from wastewater challenging the heat recovery process.

The thesis found that in wastewater treatment plant of Toijala heat should be recovered from the final sedimentation water, when the wastewater contains the least contaminants. In this case the heat recovery does not interfere with the wastewater treatment process, which itself requires heat so it can work optimally. In theory the heat recovery can be executed by two different methods: heat exchanger or collector pipes in the pool. Heat sources can be connected to heating system by two different methods: Energy accumulator or oil-fired boiler and a heat pump in series connection.

---

Key words: heat recovery, wastewater, wastewater treatment plant

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KOHDE .....	8
3	JÄTEVEDEN PUHDISTUS .....	9
3.1	Toijalan jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi .....	10
3.1.1	Esikäsittely .....	10
3.1.2	Biologinen puhdistus.....	11
3.1.3	Selkeytys .....	11
3.1.4	Lietteenkäsittely .....	12
4	LÄMMÖNTALTEENOTTO .....	13
4.1	Teoria .....	13
4.1.1	Lämmönvaihdin .....	16
4.1.2	Lämmönsiirtonesteet .....	20
4.1.3	Lämpöpumppu .....	21
4.2	Porin Jätevedenpuhdistamo .....	23
5	TOIJALAN JÄTEVEDENPUHDISTAMON LÄMMÖNTALTEENOTTO .....	26
5.1	Toijalan jätevedenpuhdistamon lämmöntarve .....	27
5.1.1	Lämmitys .....	27
5.1.2	Käyttövesi .....	27
5.2	Lämmöntalteenoton sijoitus jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessiin .....	28
5.3	Materiaalit .....	29
5.4	Lämmönjakohuone .....	32
5.4.1	Lämpöpumppu .....	32
5.4.2	Käyttövesi .....	34
5.4.3	Energiavaraaja.....	34
5.4.4	Esimerkkikytkentä.....	35
5.5	Lämmöntalteenoton toteutustapa 1 .....	40
5.5.1	Esimerkkikytkentä.....	40
5.5.2	Lämmönsiirtimet .....	41
5.5.3	Kustannusarvio.....	43
5.6	Lämmöntalteenoton toteutustapa 2 .....	44
5.6.1	Esimerkkikytkentä.....	44
5.6.2	Keruuputkisto .....	45
5.6.3	Kustannusarvio.....	45
5.7	Lämmöntalteenotto menetelmien vertailu .....	46
6	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	50

LIITTEET .....	52
Liite 1. EsimerkkikytKentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 60 °C ja on varustettu keruupiirillä. ....	52
Liite 2. EsimerkkikytKentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 60 °C ja on varustettu lämmönsiirtimellä .....	53
Liite 3. EsimerkkikytKentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 50 °C ja on varustettu keruupiirillä. ....	54
Liite 4. EsimerkkikytKentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 50 °C ja on varustettu lämmönsiirtimellä .....	55
Liite 5. Vaihtoehtoinen esimerkkikytKentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 50 °C ja on varustettu keruupiirillä. ....	55
Liite 6. Vaihtoehtoinen esimerkkikytKentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 50 °C ja on varustettu lämmönsiirtimellä. ....	57
Liite 7. EsimerkkikytKentä ilman energiavaraajaa, kun lämpöpumppu on varustettu keruupiirillä. ....	58
Liite 8. EsimerkkikytKentä ilman energiavaraajaa, kun lämpöpumppu on varustettu lämmönsiirtimellä. ....	59

**LYHENTEET JA TERMIT**

m <sup>3</sup> /d	kuutiota päivässä
HELCOM	Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio
tekninen vesi	puhdistettua jätevettä
LTO-laitteisto	lämmöntalteenottolaitteisto
U-arvo	lämmönläpäisykerroin
COP	Lämpökerroin (Coefficient of Performance)
LK	Lämmityskattila
PE-muoviputki	polyeteenimuoviputki
LVI-RYL	LVI-rakentamisen yleiset laatuvaatimukset

## 1 JOHDANTO

Kiristyvät päästömääräykset pakottavat etsimään vaihtoehtoisia energian lähteitä, joilla ympäristöä rasittavia päästöjä voitaisiin pienentää. Hyväksi havaittuja energianlähteitä ovat muun muassa uusiutuvat energianlähteet, kuten aurinko-, tuuli- sekä vesivoima.

Lämmöntalteenotto on yleistynyt viime vuosikymmenten aikana varsinkin ilmanvaihdon yhteydessä. Nykypäivänä on ymmärretty kuinka paljon lämpöenergiaa hukataan taivaalle ilmanvaihdon myötä, mikäli poistoilmasta ei oteta lämpöä talteen. Samaa asiaa voidaan pohtia myös jätevedestä. Kun lämpöä ei oteta talteen jätevedestä, viemäriin valuu noin 14 – 19 % kiinteistön kokonaisenergiasta.

Opinnäytetyössä selvitetään, onko Toijalan jätevedenpuhdistamon jätevedestä mahdollista ottaa lämpöä talteen ja käyttää sitä esimerkiksi kiinteistön lämmitykseen, pohditaan lämmöntalteenoton sijoitusta puhdistusprosessiin sekä erilaisia menetelmiä, joilla lämpöä voidaan kerätä jätevedestä. Työssä on myös piirretty esimerkkikytkentäkaaviot mahdollisista toteutustavoista sekä pohdittiin erilaisia materiaalivalintoja sekä vertailaan kustannuksia ja menetelmiä.

Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta. Teoriaosassa käsitellään Toijalan jäteveden puhdistusprosessia sekä erilaisia lämmönsiirtimiä ja lämmöntalteenottolaitteistoja. Työosassa tutkitaan erilaisia lämmöntalteenotto menetelmiä mitkä sopisivat kyseiseen puhdistamoon sekä lämpöpumpun kytkemistä öljykattilan rinnalle.

## 2 KOHDE

Opinnäytetyön kohteena toimii Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamo Toijalassa, Puhdistamontie 9, 37800 Akaa. Kohteeseen johdetaan jätevedet Kylmäkoskelta, Toijalasta, Viialasta sekä osittain Iittalasta. Jätevedenpuhdistamo on biologis-, kemiallinen aktiivilietelaitos. Puhdistamo koostuu kolmesta eri rakennuksesta: uusi sosiaalilarakennus, vanha sosiaalilarakennus sekä jätevedenpuhdistamo, näiden rakennustilavuus on yhteensä 7860 m<sup>3</sup> ja bruttopinta-ala 1950 m<sup>2</sup>. Jäteveden puhdistamo on valmistunut 1976, jonka jälkeen sitä on laajennettu 1992. Jätevedenpuhdistamo on esiselkeytykseen asti yksilinjainen, jonka jälkeen se jakaantuu kahteen linjaan. Jäteveden kokonaisvirtaama laitoksella on arvioitu olevan noin 5400 m<sup>3</sup>/d.

Kohteen lämmitysmuoto on öljylämmitys, joka lämmittää kohteen käyttö- sekä lämmitysveden. Lämmitysjärjestelmää on asennettu kaksi öljykattilaa rinnakkain. Toinen öljykattiloista toimii pääkattilana (130 kW) ja toinen varakattilana (270 kW), mikäli pääkattilan teho ei riitä kattamaan lämmitystehontarvetta otetaan varakattila käyttöön automaattisesti. Öljykattilat on sijoitettu lämmönjakuhuoneeseen, joka sijaitsee jätevedenpuhdistamossa. Lämmönjakotapoja on kohteessa useita: uudessa sosiaalilarakennuksessa on vesikiertoinen lattialämmitys, vanhassa sosiaalilarakennuksessa on vesikiertoinen radiaattorilämmitys ja jätevedenpuhdistamossa on ilmalämmitys.

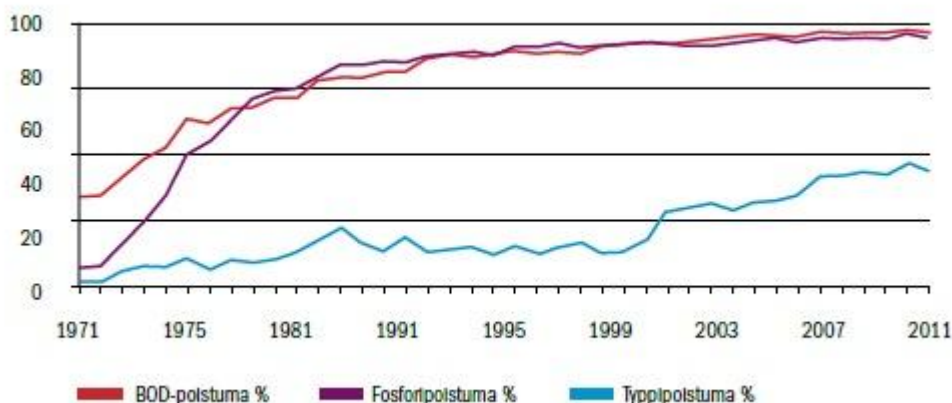


### 3 JÄTEVEDEN PUHDISTUS

Yhden vuoden aikana yksi ihminen tuottaa jäteveeseen noin kilon fosforia ja viisi kiloa typpeä, jotka puhdistamattomana vesistöön päästessään aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä. Rehevöityminen aiheuttaa veden samenemista, vesikasvien lisääntymistä, leväkukintoja sekä johtaa happikatoon talviaikana. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää, että yhteiskunnan jätevedet puhdistetaan, ennen vesistöön johtamista. (Puhtaan veden tekijät 2014, 2)

Jätevesiä on Suomessa puhdistettu 1960- ja 1970-luvulta lähtien. Vuonna 2014 Suomessa oli noin 500 yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoa ja yli 10 000 ihmistä palvelevia jätevedenpuhdistamoita oli noin 90 kappaletta. EU-direktiivi edellyttää jäteveden puhdistuksessa fosforin poistotasoksi 80 % ja HELCOM-suositus poistotasoksi on 90 %. Tällä hetkellä jäteveden fosforin poistotaso suomessa on 95 – 96 % ja typen poistotaso noin 33 %. Typen poisto ei kaikissa tapauksissa ole tarpeellista, koska sillä ei välttämättä ole merkittävää vaikutusta alueen vesistön tilaan. Yli 100 ihmisen jätevedenpuhdistamolla tulee olla ympäristölupa, jossa laitokselle on asetettu tapauskohtaiset jäteveden puhdistusvaatimukset. (Puhtaan veden tekijät 2014, 2-4)

Seuraavassa kuvaajassa (Kuvio 1.) on esitetty puhdistamoiden poistotehon kehittyminen vuosien 1971 – 2011 välillä.

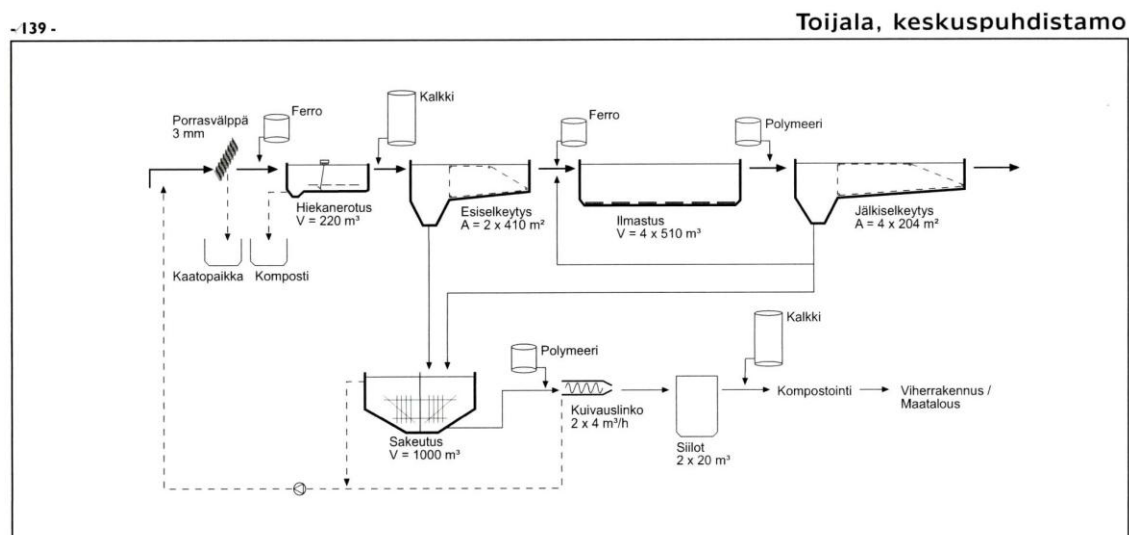


Kuvio 1. Jätevedenpuhdistamoiden poistotehon kehittyminen (Puhtaan veden tekijät 2014, 3)

### 3.1 Toijalan jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi

Toijalan jätevedenpuhdistamo on biologis-, kemiallinen aktiivilietelaitos (HS-vesi, Toijalan puhdistamo 2015). Jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi koostuu seuraavista pääkohdista: esikäsitely, biologinen puhdistus, selkeytys ja lietteen käsittely. Jäteveden esikäsitelyn vaiheet ovat porrasvälppäys, hiekanerotus, esiselkeytys sekä ferrosulfaatin syöttö. Biologinen puhdistus tapahtuu jäteveden ilmastuksella ilmastusaltaissa ja jäteveden selkeytys selkeytysaltaissa. Lietteen käsittelyn vaiheet ovat sakeutus, koneellinen kuivaus ja väliaikaisvarastointi. (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

Seuraavassa kuvassa (kuva 1) on esitetty Toijalan jätevedenpuhdistamon toimintaprosessi kaaviokuvana.



Kuva 1. Kaavio puhdistusprosessista (Kangas 2004, 139)

#### 3.1.1 Esikäsitely

Esikäsitelyn ensimmäinen vaihe on jäteveden porrasvälppäys (3 mm.). Välppä poistaa suurimmat roskat puhdistamolle tulevasta jätevedestä mekaanisesti. Tämän jälkeen poistettu roska pestään puhtaaksi välpepesurilla ja pesty välpe toimitetaan jatkokäsittelyyn ulkopuoliselle taholle. (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

Toinen vaihe esikäsitelyssä on hiekanerotus. Välppien jälkeen jätevesi johdetaan suorakaiteen muotoiseen hiekanerotusaltaaseen, jossa hiekka painuu painovoimaisesti altaan pohjalle. Hiekanerotusaltaan pohjassa kulkee hiekkakaavin, joka siirtää pohjalle kerääntyneen hiekan altaan päädystä. Altaan päädystä hiekka siirretään pumpun avulla

hiekkapesurille. Hiekkapesurissa käytetty pesuvesi johdetaan takaisin välpälle ja pesty hiekka toimitaan jatkokäsittelyyn. (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

Jäteveden esikäsittelyn viimeinen vaihe on esiselkeytys. Esiselkeytys tapahtuu kahdessa rinnakkain kytketyssä suorakaiteen muotoisessa esiselkeytysaltaassa. Esiselkeytysaltaassa jätevedessä jäljellä oleva liete painuu pohjaan painovoimaisesti. Esiselkeytysaltaat on varustettu ketjukaapimilla, jotka keräävät pohjaan painuneen lietteen altaan päähän, josta liete siirretään pumpun avulla sakeutukseen (lietteenkäsittely). Jäteveden esikäsittelyyn kuuluu myös ferrosulfaatin sekä kalkin syöttö. Ferrosulfaattia voidaan lisätä jäteveteen puhdistusprosessin kahdessa eri vaiheessa. Ferrosulfaatin syöttöpisteet puhdistusprosessissa ovat ennen hiekanerotusta tai esiselkeytyksen jälkeen. Kalkki lisätään prosessiin yhdestä syöttöpisteestä, joka sijaitsee hiekanerotuksen ja esiselkeytyksen välissä. (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

### **3.1.2 Biologinen puhdistus**

Biologisessa puhdistuksessa jätevedestä poistetaan orgaaninen lika-aines bakteerien avulla. Jäteveden biologinen puhdistus tapahtuu kahdessa linjassa, joissa molemmissa on kaksi suorakaiteen muotoista, rinnakkain kytkettyä ilmastusallasta. Ilmastusaltaisiin syötetään ilmaa altaan pohjaan asennetuilla pohjailmastimilla. Pohjailmastimia on puhdistamossa kahta eri mallia: kumikalvohienokuplalauteen sekä kumikalvohienokupla-paneeli. Pohjailmastimilla altaaseen syötetty ilma nousee kohti altaan pintaa, samalla aktivoiden jätevedessä olevat bakteerit. Bakteerien aktiivisuus perustuu jäteveden lämpötilaan. Näin ollen ilmastusaltaiden veden lämpötila tulisi olla mahdollisimman korkea, jotta voidaan taata bakteerien oikea toiminta. Ilmastusaltaassa orgaanisen lika-aineksen poiston lisäksi altaan hapettomassa päässä saadaan aikaan kokonaistypenpoisto ilmastuslietettä kierrättämällä. (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

### **3.1.3 Selkeytys**

Selkeytyksessä jätevedestä erotellaan ilmastusliete painovoimaa hyödyntäen. Selkeytysvaiheessa ilmastusliete johdetaan suorakaiteen muotoiseen jälkiselkeytysaltaaseen. Jälkiselkeytysaltaissa liete painuu painovoimaisesti pohjaan. Lietteiden painumista tehostetaan polymeerin syötöllä, joka muodostaa lietteestä suuremman flokin, jolloin liete laskeutuu altaan pohjalle nopeammin. Altaisiin on asennettu ketjukaapimet, jotka kaa-

pivat pohjalle painuneen lietteen lietteenpoistopumpuille. Ketjukaapimet eivät poista mahdollisia pintaroskia altaasta, joten ne poistetaan altaasta manuaalisesti. Lietteentoistopumput johtavat lietteen palautuskanavaan, josta se kulkeutuu takaisin ilmastusaltaiisiin tai ylijäämälietteen poiston kautta sakeutukseen (lietteenkäsittely). (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

Jälkiselkeytysaltaista poistuva jälkiselkeytetty vesi on puhdistettua jätevettä, joka voidaan johtaa luontoon. Toisen linjan jälkiselkeytetty vesi kulkee vielä kloorikontaktialtaan läpi, josta sitä voidaan pumpata tekniseksi vedeksi. Teknistä vettä voidaan käyttää esimerkiksi kemikaalien valmistukseen tai laitoksella altaiden puhdistukseen. (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

#### **3.1.4 Lietteenkäsittely**

Lietteenkäsittelyn tarkoituksena on käsitellä jätevedestä eroteltu liete sellaiseen muotoon, jotta se voidaan toimittaa jatkokäsittelyyn ulkopuoliselle taholle. Lietteenkäsittelyn ensimmäinen vaihe on sakeutus. Sakeutus tapahtuu sakeutusaltaissa, johon johdetaan ylijäämälietettä palautuskanavasta ja esiselkeytysaltaissa erotettua lietettä. Liele laskeutetaan painovoimaisesti sakeutusaltaan pohjalle, josta se pumpun avulla siirretään kahdelle kuivauslingolle. Kuivauslinkojen lietteen kuivaustehoa tehostetaan polymeerin syötöllä. Kuivauslingosta kuivattu liete putoaa siiloon, josta se toimitetaan jatkokäsittelyyn. Sakeutusaltailta ja kuivauslingoilta jäljelle jäänyt vesi johdetaan takaisin puhdistusprosessin alkuun porrasvälpälle. (Kangas 2004, 138.; Leimu, M. 2015)

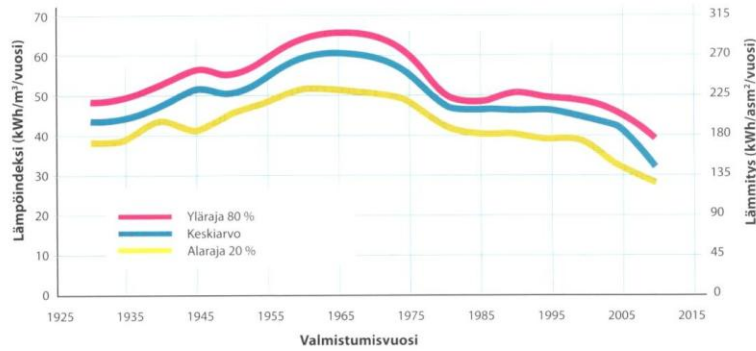
## 4 LÄMMÖNTALTEENOTTO

Lämmöntalteenottoa käytetään Suomessa yleisesti rakennuksien ilmanvaihdossa, mutta rakennuksien jäteveden lämmöntalteenotto on vielä harvinaista. Jätevedestä voidaan ottaa lämpöä talteen oikeanlaisella lämmöntalteenottolaitteistolla. Lämmöntalteenottoa voidaan tehostaa lämpöpumppu-tekniikalla. (Finess LTO-laitteistot)

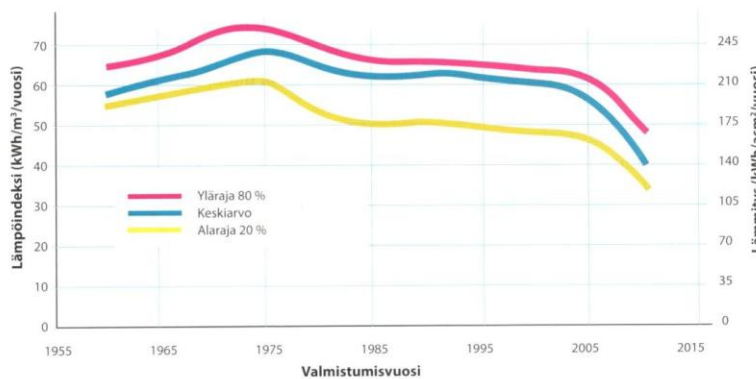
### 4.1 Teoria

Rakennusten energiankulutus Euroopan unionin alueella on tällä hetkellä noin 40 prosenttia kokonaisenergian kulutuksesta (Motiva, Rakennusten energiatehokkuus direktiivi 2010). Vuonna 2007 Euroopan unioni on asettanut tavoitteeksi vähentää vuosittaista energiankulutusta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä (Faktatietoja Euroopan unionista 7.2015).

Suomen rakennuskannan koko kasvoi vuonna 2013 0,6 prosenttia ja vuonna 2014 0,9 prosenttia (Tilastokeskus 2015). Mikäli Suomen rakennuskannan koko jatkaa noin 0,5-1 prosentin kasvuluokkaa vuosittain, johtaa tämä energiankulutuksen nousuun (Salminen S. 2015, 16). Rakennuksen energiankulutus koostuu pääosin lämmityksestä, käyttöveden lämmityksestä sekä kiinteistösähköstä (Virta & Pylsy 2011, 15). Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto tuli rakentamismääräysten kautta vaatimukseksi vuonna 2003, joka näkyy rakennuksien lämpöindeksiä kuvaavassa kuvaajassa (Kuvio 2.) lämpöindeksin pienenemisenä vuoden 2004 jälkeen (Virta & Pylsy 2011, 22). Asuinrakennuksissa käyttövettä kulutetaan noin 155 litraa/henkilö/vuorokausi, tästä noin 40 prosenttia on lämmintä käyttövettä. Käyttöveden lämmittämiseen kuluu noin 20 - 30 prosenttia rakennuksen lämmitysenergiasta (Virta & Pylsy 2011, 21, 26). Kuvissa (Kuva 2. ja kuva 3.) on esitetty kerros- sekä rivitalon lämpöenergiatase.



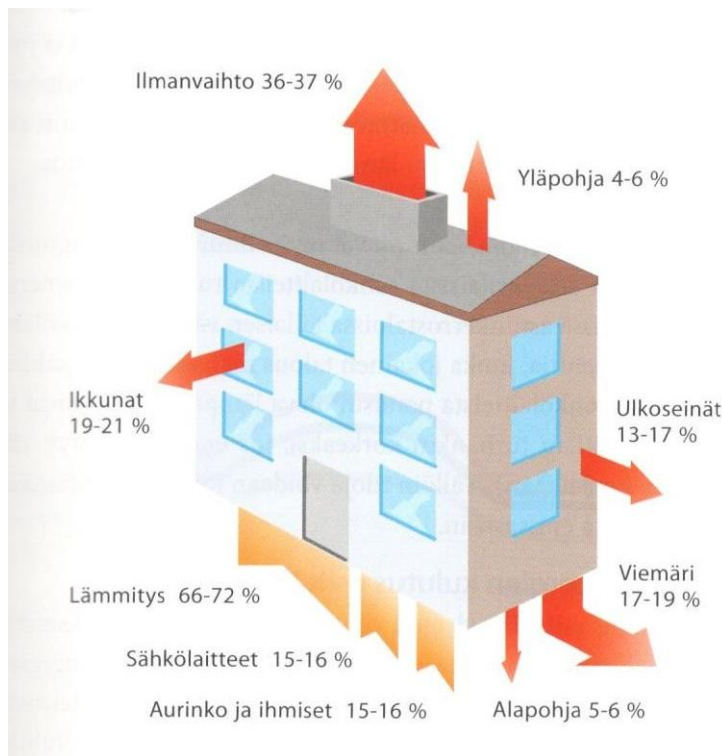
Kuva 2.5. Asuinkerrostalon lämmitysenergiankulutus. Lähde: Suomen Talokeskus.



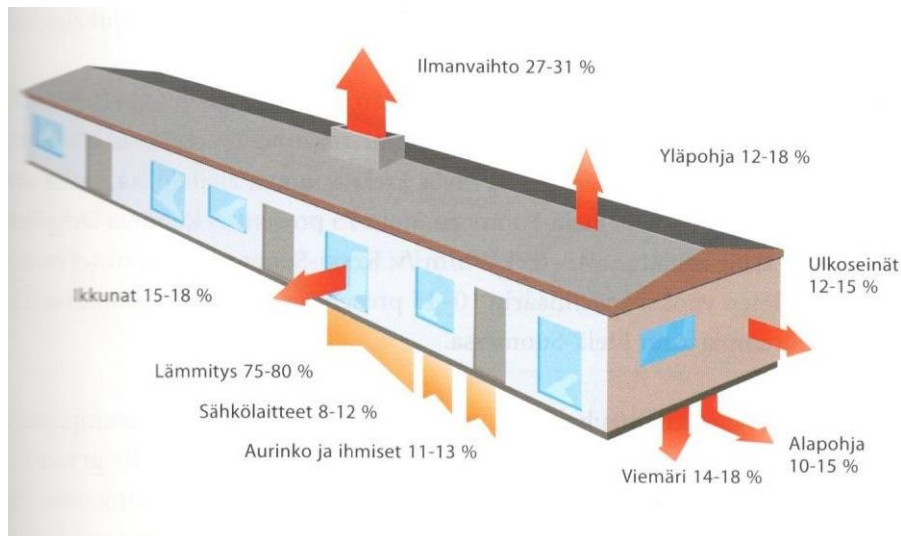
Kuvio 2. Rivitalojen ja kerrostalojen lämpöindeksi valmistumisvuoden mukaan (Virta & Pylsy 2011, 21).

Kuvaajasta (Kuvio 2.) voimme havaita lämpöindeksin pienemisen selvästi vuoden 2004 jälkeen, jolloin ilmanvaihdon lämmöntalteenotot yleistyivät rakennuksissa voimakkaasti.

Seuraavissa kuvissa on esitetty lämpöenergiatase vuonna 1960 – 1980 valmistuneille kerrostaloille sekä vuonna 1970 – 1990 valmistuneille rivitaloille.



Kuva 2. Lämpöenergiatase vuonna 1960 - 1980 valmistuneille kerrostaloille (Virta & Pylsy 2011, 19).



Kuva 3. Lämpöenergiatase vuonna 1970 - 1990 valmistuneille rivitaloille (Virta & Pylsy 2011, 19).

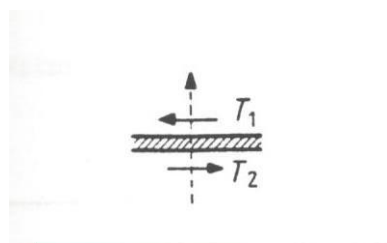
Kuvasta 2. ja kuvasta 3. voimme havaita, että suurin osa lämpöenergiasta poistuu ilmanvaihdon kautta. Rakentamismääräyskokoelma D 3 määrittää kappaleessa 2.6.2, että rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 prosenttia ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Yläpohjan, seinien ja alapohjan lämpöhäviöitä pyritään pienentämään kolmella eri me-

netelmällä: Ensimmäinen menetelmä on eristepaksuuden kasvattaminen, toinen vaihtoehto on parantaa eristeen laatua ja kolmas tapa on kylmäsiltojen katkaisu (Rakentaja.fi 2013). Ikkunoiden energiatehokkuuteen vaikuttaa ikkunoiden sijoittelu, pinta-ala sekä seuraavat seikat: lasiosan U-arvo, ilmanpitävyys, auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, selektiivipinnoitteet, eristyslasien täytekaasut ja välilistan materiaali (Motiva 2015). Hyödyntämätöntä lämpöenergiaa kulkeutuu jäteveden mukana viemäriin 14 – 19 prosenttia rakennuksen kokonaislämpöenergiasta.

#### 4.1.1 Lämmönvaihdin

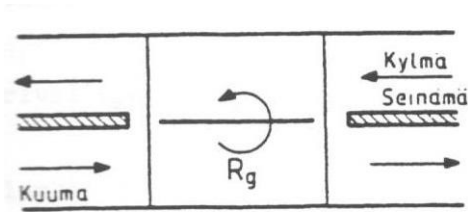
Lämmönvaihtimeksi määritellään laite, joka siirtää lämpöenergiaa lämpönä fluidista toiseen. Yksinkertaisin lämmönvaihdin ainoastaan sekoittaa kylmän ja kuuman fluidin. Kehittyneemmissä lämmönvaihtimissa lämpöenergiaansa luovuttava ja lämpöenergiaa vastaanottava fluidi on erotettu seinämällä, jonka läpi lämpöenergia siirtyy johtumalla. (Theodore 2011, chapter 14). Lämmönvaihtimen tarkoitus on saada aikaan lämpötilan tai olotilan muutoksia. Lämmönvaihtimia käytetään usein myös lämmöntalteenotossa. (Lampinen 2005, 14)

Lämmönvaihtimet voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan kahteen eri ryhmään: rekuperaattorit (kuva 4.) ja regeneraattorit (kuva 5.). Rekuperaattoreissa kulkee kaksi eri ainevirtaa, jotka on erotettu seinämällä. Lämpötilaeron ansiosta lämpöä siirtyy kuumasta ainevirrasta kylmempään ainevirtaan. Regeneraattoreissa kylmä- ja kuuma ainevirta johdetaan vuoron perään lämpöä varastoivan rakenteen läpi. Rakenteen kyky varastoida ja luovuttaa lämpöenergiaa aiheuttaa lämmönsiirtymisen kylmempään ainevirtaan. (Lampinen 2005, 14,16)



Kuva 4. Rekuperaattori (Lampinen 2005, 14)





Kuva 5. Regeneraattori (Lampinen 2005, 16)

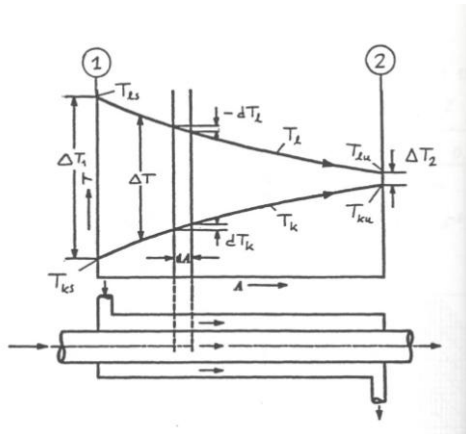
Kuvissa neljä ja viisi  $T_1$  on kylmä ainevirta,  $T_2$  on kuuma ainevirta ja  $R_g$  on lämpöä varastoiva rakenne.

Lämmönvaihtimessa fluidit voivat virrata samaan suuntaisesti tai vastakkaisista suunnista. Mikäli fluidit virtaavat samaan suuntaisesti, kutsutaan lämmönvaihdinta myötavirtalämmönvaihtimeksi (kuva 6) ja vastaavasti fluidien virratessa vastakkaisista suunnista kutsutaan lämmönvaihdinta vastavirtalämmönvaihtimeksi (kuva 7). (Theodore 2011, chapter 14). Ideaalissa tilanteessa, jossa ei oteta huomioon lämmönvaihtimen likaantumista tai lämpöhäviöitä, lämmön vähentyminen kuumemmasta fluidista olisi yhtä suuri kuin kylmemmän fluidin lämmön nousu. Tämä on esitetty seuraavassa kaavassa (kaava 1).

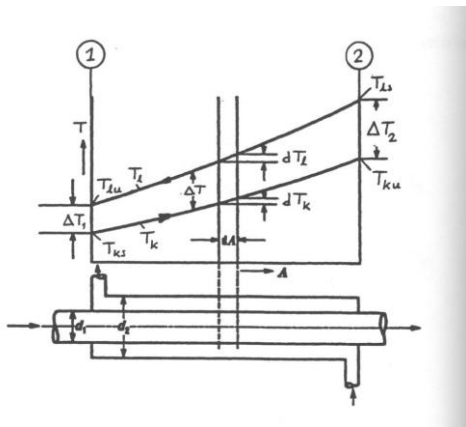
$$\dot{m}_{f,k} C_p (T_{f,kL} - T_{f,kA}) = -\dot{m}_{f,ky} C_p (T_{f,kyL} - T_{f,kyA}), \quad (1)$$

jossa  $\dot{m}_{f,k}$  on kuumemman fluidin massavirta (kg/s)  
 $C_p$  on fluidin ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)  
 $T_{f,kL}$  on kuumemman fluidin loppulämpötila (°C)  
 $T_{f,kA}$  on kuumemman fluidin alkulämpötila (°C)  
 $\dot{m}_{f,ky}$  on kylmemmän fluidin massavirta (kg/s)  
 $T_{f,kyL}$  on kylmemmän fluidin loppulämpötila (°C)  
 $T_{f,kyA}$  on kylmemmän fluidin alkulämpötila (°C). (Salminen S. 2015, 22)

Seuraavissa kuvissa (kuva 6 ja kuva 7) on esitetty lämpötilan muuttuminen myötävirta- ja vastavirtalämmönvaihtimissa.



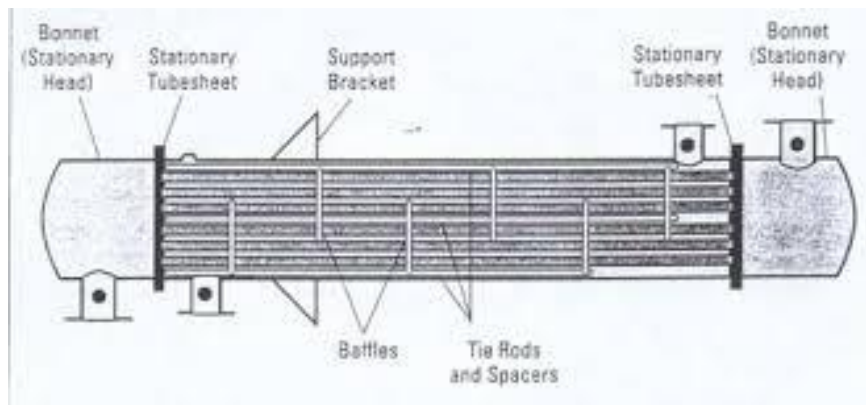
Kuva 6. Myötävirtalämmönvaihtimen lämpötilakäyrä (Lampinen 2005, 66)



Kuva 7. Vastavirtalämmönvaihtimen lämpötilakäyrä (Lampinen 2005, 60)

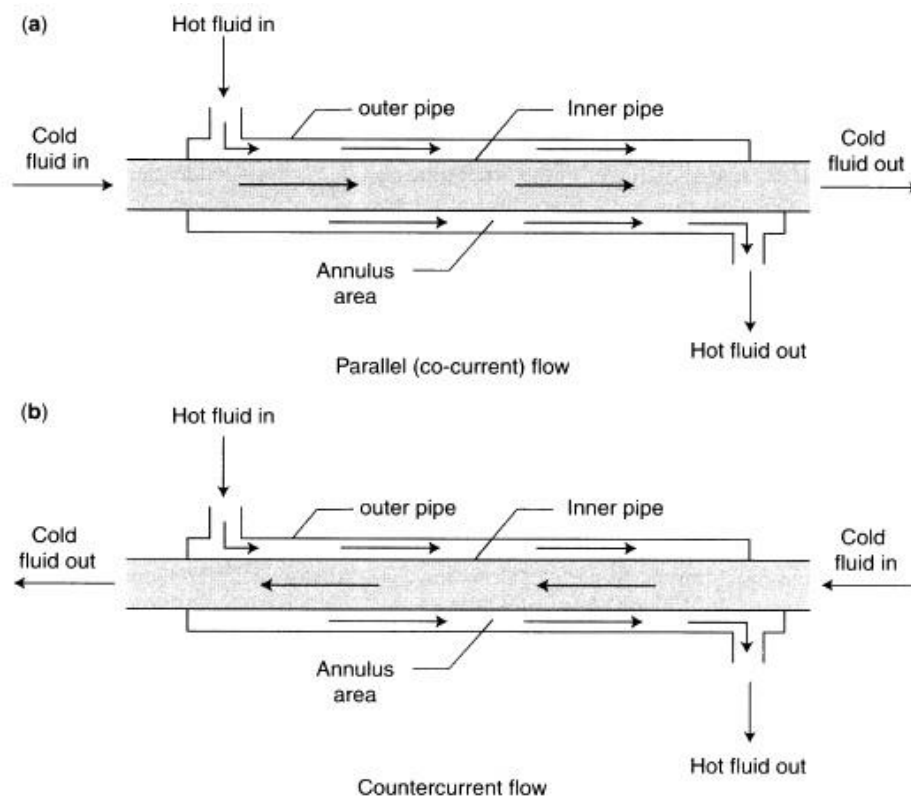
Kuvista 6 ja 7 voimme huomata, että vastavirtalämmönvaihtimessa kylmän fluidin ulostulolämpötila lämmönvaihtimesta on suurempi kuin kuuman fluidin ulostulolämpötila. Kun taas myötävirtalämmönvaihtimessa kuumempi fluidi tulee vaihtimesta ulos kuumempina kuin kylmä fluidi. Tästä voimme päätellä vastavirtalämmönvaihtimen olevan tehokkaampi ratkaisu lämmönsiirtämiseen fluidista toiseen kun sitä verrataan myötävirtalämmönvaihtimeen.

Seuraavissa kuvissa on esitetty joitakin lämmönvaihdin-tyyppejä.



Kuva 8. Vaippaputkilämmönvaihdin (Nuutinen 1999, 4)

Kuvan 8 vaippaputkilämmönvaihtimen tehokkuutta on mahdollista parantaa kuvassakin esitetyillä vastuslevyillä. Vastuslevyt asennetaan vaipan sisään ja niillä pakotetaan fluidi mutkittelemaan vaippaputken sisällä. Tämä aiheuttaa veden pidemmän viipymisen vaihtimessa sekä veden virtauksen muuttumisen turbulენტtiseksi, jolloin lämmönsiirtyminen fluidien välillä tehostuu.

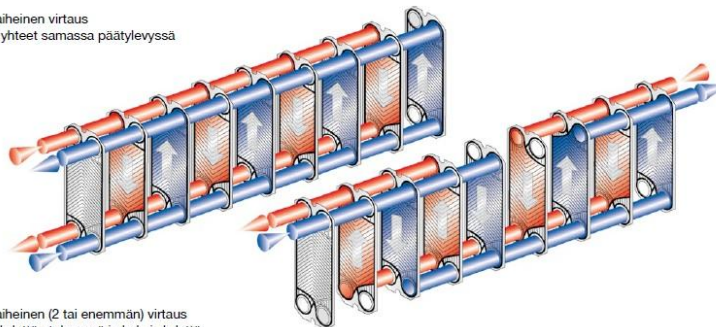


Kuva 9. Kaksoisputkilämmönvaihdin (Theodore 2011, chapter 15)

Kuvassa 9 on esitetty yksinkertainen lämmönvaihdintyyppi kaksoisputkilämmönvaihdin. Kaksoisputkilämmönvaihtimessa on kaksi putkea päällekkäin, jossa kylmä fluidi johdetaan sisempään putkeen ja kuuma ulommaiseen putkeen. Lämpö siirtyy fluidista toiseen putkien välisen seinämän lävitse.

#### Virtaus

Yksivaiheinen virtaus  
kaikki yhteyt samassa päätylevyssä



Monivaiheinen (2 tai enemmän) virtaus  
kaksi yhdetä etulevyssä ja kaksi yhdetä  
takalevyssä

#### Yhteiden sijoitus



yksivaiheinen



kaksivaiheinen



kolmevaiheinen

Kuva 10. Levylämmönsiirrin (ViFlow Finland Oy, Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet)

Kuvassa 10 on esitetty levylämmönsiirrin, joka on yleisesti käytössä esimerkiksi kaukolämpösovelluksissa. Levylämmönsiirtimen tehoa voidaan kasvattaa lisäämällä välilevyjä siirtimeen, jolloin lämmönsiirtopinta-ala kasvaa.

### 4.1.2 Lämmönsiirtonesteet

Lämmönkeruunesteitä käytetään yleisesti maalämpöpumppu- tai lämmöntalteenottojärjestelmissä. Lämmönkeruuneste voi olla vettä tai veden ja eri aineiden muodostamaa liuosta. Veteen lisättyjen aineiden on tarkoitus estää liuoksen jäätyminen alle 0 °C lämpötiloissa. Yleisimmin Suomessa käytetty lisäaine liuoksessa on etanoli, jonkin verran käytetään myös betaiinia ja kaliumformiaattia. Vanhemmissa maalämpöjärjestelmissä on käytetty muun muassa etyleeni- ja propyleeniglykolia sekä metanolia. Käytössä olevien lämmönkeruunesteiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan ja riippuvat muun muassa liuosten pitoisuuksista ja lämpötilasta. (Juvonen J. & Lapinlampi T. 2013, 46)

Etanoli on helposti syttyvää, mutta sitä ei luokitella ihmiselle tai ympäristölle haitalliseksi. Propyleeniglykolia, betaiinia ja kaliumformiaattia ei etanolin tapaan luokitella ihmiselle tai ympäristölle vaaralliseksi, eivätkä ne ole helposti syttyviä ja näistä ainoastaan propyleeniglykoli on palava aine. Kaliumforminaatilla on edellä mainituista voimakkain korrosoiva vaikutus ja sitä käytettäessä tulisikin välttää galvanoituja pintoja sekä alumiinia. Etyleeniglykoli sekä metanoli ovat molemmat terveydelle haitallisia nieltynä, metanoli on lisäksi terveydelle haitallista joutuessaan iholle sekä hengitettäessä. (Juvonen J. & Lapinlampi T. 2013, 46, 47)

Hyvän lämmönkeruunesteen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat:

- alhainen jäätymispiste
- alhainen viskositeetti
- hyvä lämmönjohtavuus
- korkea ominaislämpökapasiteetti
- ei korrodoiva
- yhteensopivia useiden materiaalien kanssa
- kemiallisesti stabiili, pitkäikäinen
- palamaton, myrkytön ja biologisesti hajoava

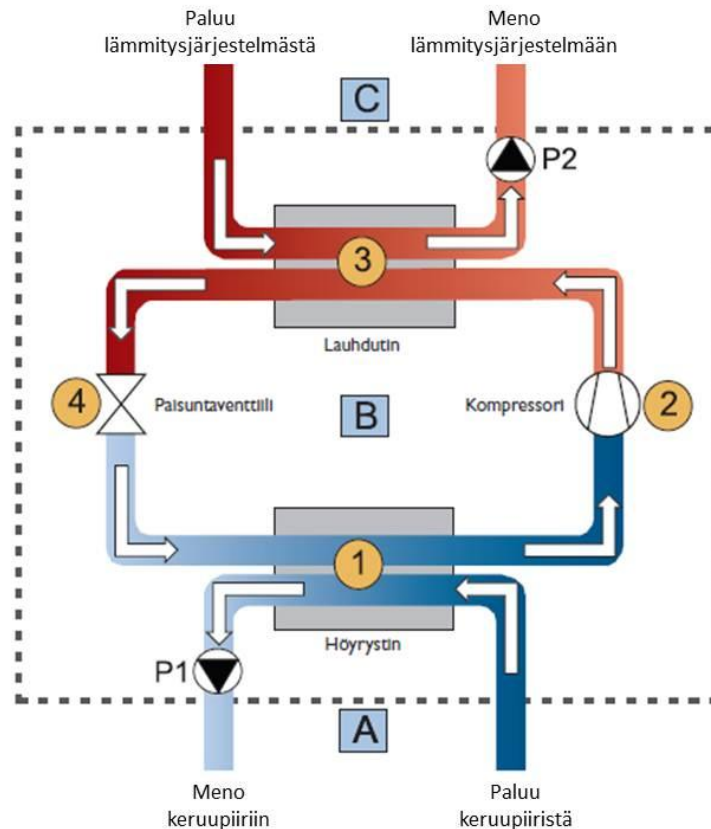
Lämmönkeruunesteissä käytetään vielä edellä mainittujen aineiden lisäksi erilaisia lisäaineita, jotka muun muassa tekevät etanolipohjaisista lämmönkeruunesteistä nautittavaksi kelpaamatonta tai ehkäisevät järjestelmän korroosiotumista. Etanolipohjaiset lämmönkeruunesteet tehdään nautittavaksi kelpaamattomiksi denaturointiaineilla. (Juvonen J. & Lapinlampi T. 2013, 46, 47)

#### **4.1.3 Lämpöpumppu**

Lämpöpumppu on sähköllä toimiva laite, jolla voidaan ottaa monien matalalämpötilaisten lämmönlähteiden lämpöenergia talteen ja käyttää esimerkiksi lämmitystarkoitukseen (Lappalainen M. 2010, 96). Lämpöpumpun toiminta perustuu faasinmuutosprosessiin, jossa kylmäaine höyrystyy kaasuksi ja lauhtuu takaisin nesteeksi.

Lämpöpumpun pääkomponentteja ovat höyrystin, kompressori, lauhtutin ja paisunta-venttiili. Pääkomponentit on esitetty kuvassa 11. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy nesteestä kaasuksi samalla sitoen itseensä lämpöenergiaa. Seuraavaksi kylmäaine puris-

tetaan korkeampaan paineeseen kompressorin avulla, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Kaasuksi höyrystynyt ja korkeassa paineessa oleva kylmäaine johdetaan lauhduttimelle, jossa kylmäaine luovuttaa lämpöenergiansa ja lauhtuu takaisin nesteeksi. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilin läpi, jossa kylmäaineen paine lasketaan takaisin alkuperäiseen tasoonsa. (Lappalainen M. 2010, 96)



Kuva 11. Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpun hyötysuhdetta mitataan lämpökertoimella eli COP-arvolla (Coefficient Of Performance). Lämpökerroin ilmaisee suhdetta, kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan tuotettua suhteessa kulutettuun sähköenergiaan. Jos esimerkiksi lämpöpumpun lämpökerroin on 3, saadaan yhdellä kW sähköä tuotettua 3 kW lämpöenergiaa ja näin ollen hyötysuhde on 300 %. Tämä voidaan esittää seuraavalla kaavalla:

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{\text{tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{käytetty sähköteho (kWh)}} \quad (2)$$

Lämpökerroin on sitä suurempi mitä pienempi on keruupiirin ja lämmityspiirin välinen lämpötilaero. Tästä johtuen lämpöpumpulla ei ole aina mielekästä lämmittää käyttövettä sen vaatimaan + 58 °C:een. (Lappalainen M. 2010, 96). Mikäli lämpökerrointa laske-

taan lämpötilojen mukaan, voidaan lämpökertoimen määrittämisessä käyttää seuraavaa kaavaa:

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}, \quad (3)$$

jossa

$T_2$  on verkoston mitoitustilalämpötila (K)

$T_1$  on lämmönlähteen lämpötila (K). (Lappalainen M. 2010, 30)

Kaavalla kolme saatava lämpökerroin on teoreettinen, eikä vastaa todellisessa tilanteessa toimivaa lämpöpumppua. Todellisuudessa lämpökerroin on huomattavasti pienempi kuin mitä kaavalla saadaan.

## 4.2 Porin Jätevedenpuhdistamo

Porin Luotsinmäen jätevedenpuhdistamolle on toteutettu 2014 ja 2015 vuoden vaihteessa lämmöntalteenotto puhdistetusta jätevedestä lämpöpumpun sekä lämmönsiirtimeen avulla. Kerätty lämpöenergia syötetään puhdistamon lämmitysjärjestelmään, jossa lämmöntalteenoton rinnalla toimii sähkö- sekä öljylämmitys. (Pajunen, M. 2016)

Jätevedenpuhdistamon päivittäinen jätevesivirtaama on noin 39000 m<sup>3</sup>/d ja asukasvaste noin 250000 ihmistä. Puhdistamolle johdetaan jätevesiä Porin alueen lisäksi Ulvilasta, Nakkilasta, Harjavallasta, Euran Kiukaisesta sekä Luvialta. Vuonna 2015 saapuvan jäteveden lämpötila oli alimmillaan maaliskuussa, jolloin jäteveden lämpötila oli 8,2 °C. Kiintoainetta puhdistetussa jätevedessä oli koko vuonna keskiarvolla 5,7 mg/l. Jäteveden lämpötilaan vaikuttaa osaltaan lähialueen teollisuudesta johdettavat jätevedet, jotka nostavat jäteveden lämpötilaa. Teollisuuden jätevesien merkittävimmät tuottajat ovat Suomisen kuitukangas Oy, Satamaito sekä Corenso United Oy. (Pajunen, M. 2016)

Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon lämmöntalteenottojärjestelmä on sijoitettu jäteveden puhdistusprosessin viimeisen vaiheen, flotaation jälkeen. Puhdistettu jätevesi siirretään pumppaamalla putkilämmönsiirtimelle, jossa lämpöenergia siirtyy etanoli-piiriin. Tämän jälkeen lämpöenergia siirretään lämpöpumpun avulla rakennuksen lämmitysjärjestelmässä olevaan energiavaraajaan. Varaajassa on lisäksi sähkövastukset, mikäli

lämmöntalteenoton tuottama lämpömäärä ei riitä täyttämään kiinteistön lämpötehon tarvetta. Varaajaan on liitetty myös öljylämmitys, jota käytetään ainoastaan huippulämpötehon tarpeen aikana. Lämmitysverkoston mitoituslämpötila on  $70 - 40\text{ °C}$  ja lämmönjakotapoina toimivat vesikiertoinen patterilämmitys sekä kiertoilmakojeet. LTO-järjestelmän COP-arvoksi on mitattu yli 4, kun jäteveden lämpötila poikkesi  $+0,3\text{ °C}$  suunnitellusta ja lämmitysverkoston lämpötila oli  $50 - 35\text{ °C}$ . Normaalissa lämmityskäytössä COP-arvo on tavallisesti välillä  $2,8 - 3,2$ . LTO-järjestelmä on varustettu automaattisella puhdistuslaittoistolla, johon on ohjelmoitu aikaväli, jolloin puhdistus suoritetaan. Lämmönsiirtimen puhdistus tapahtuu kemiallisesti. (Pajunen, M. 2016)



Kuva 12. LTO-järjestelmän putkilämmönsiirrin



Seuraavassa taulukossa on esitetty jätevedenpuhdistamon öljynkulutus vuodesta 2012 eteenpäin.

Taulukko 1. Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon öljynkulutus eri vuosina. (Pajunen, M. 2016)

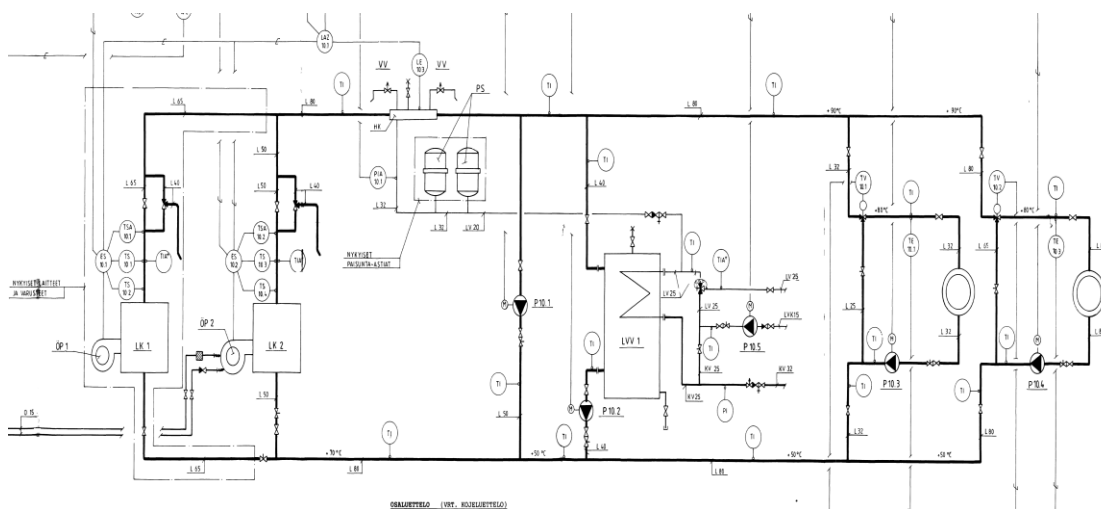
<b>Luotsinmäen jätevedenpuhdistamon öljynkulutus</b>	
Vuosi	Kulutus (l)
2012	95600
2013	87470
2014	92100
2015	12400

Taulukosta yksi voimme huomata öljynkulutuksen vähentyneen merkittävästi vuonna 2015 verrattuna edellisiin vuosiin. Vastaavasti sähkönkulutus kasvoi vähäisesti, kun se oli vuonna 2014 5,6 miljoonaa kWh ja vuonna 2015 5,75 miljoonaa kWh. Kasvu oli siis prosentteina noin 2,6 %. LTO-järjestelmän sähkönkulutusta on kuitenkin haastavaa määrittää, koska esimerkiksi puhdistusprosessin ilmastusvaihe sekä laitos yleisesti kulltavat sähköä. Sähkönkulutus vaihtelee myös normaaleina vuosina, joten 2,6 % kasvua ei voida selittää pelkästään LTO-järjestelmällä.

## 5 TOIJALAN JÄTEVEDENPUHDISTAMON LÄMMÖNTALTEENOTTO

Toijalan jätevedenpuhdistamolle on tarkoitus rakennuttaa lämmöntalteenottolaitteisto, joka hyödyntäisi puhdistamolle tulevassa jätevedessä olevan lämpöenergian. Lämmöntalteenottolaitteistolla kerätty lämpöenergia on tarkoitus siirtää puhdistamon lämmitysjärjestelmään lämpöpumpun avulla. Lämmöntalteenoton rinnalle jää vanhasta öljylämmityksestä toinen lämmityskattila täyttämään huippulämmitystehontarvetta. Lämmöntalteenotto on mahdollista toteuttaa kohteeseen kahdella eri menetelmällä, lämmönsiirtimellä tai altaaseen upotettavalla keruuputkistolla. Lämmönsiirrintä käytettäessä puhdistettu jätevesi johdetaan pumpun avulla lämmönsiirtimelle, joka on suunniteltu sijoitettavaksi kloorikontaktialtaan vieressä olevaan tyhjään varastoon. Toinen vaihtoehto olisi kerätä lämpöenergia talteen upottamalla lämmönkeruuputkisto kloorikontaktialtaaseen. Lämpöpumppu olisi molemmissa tapauksissa sijoitettu lämmönjakohuoneeseen. Siirtimessä tai keruuputkistossa lämpöenergiaa vastaanottanut lämmönsiirtoneste johdettaisiin lämpöpumpulle, joko maahan sijoitetulla putkistolla tai vaihtoehtoisesti puhdistamon läpi kulkevalla putkistolla. (Sulin, T. 2015)

Seuraavassa kuvassa on esitetty puhdistamon olemassa olevan lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio.



## 5.1 Toijalan jätevedenpuhdistamon lämmöntarve

Jätevedenpuhdistamon lämmöntarve koostuu tilojen lämmityksestä sekä käyttöveden lämmityksestä. Puhdistamon huippulämpötehon tarve on esitetty taulukossa kaksi. Laskennassa on käytetty suunnitelmista sekä muista laitoksen dokumenteista saatuja u-arvoja ja sisälämpötiloja.

### 5.1.1 Lämmitys

Seuraavassa taulukossa (taulukko 2.) on esitetty jätevedenpuhdistamon laskennallisesti arvioitu lämmitystehontarve. Lämpötehontarve on esitetty kahdessa eri ulkolämpötilassa. Ulkolämpötilan alittaessa  $-14\text{ °C}$  kytkeytyy ilmanvaihto puoliteholle, jolloin lämmityspatterin tehontarve vähenee merkittävästi, kun lämmitettävä ilmavirta laskee puoleen mitoitusilmavirrasta. Tällöin tullaan tilanteeseen, jossa suurin lämpötehontarve saavutetaan, kun ulkolämpötila on  $-14\text{ °C}$ .

Taulukko 2. Toijalan jätevedenpuhdistamon laskennallisesti arvioitu lämpötehontarve.

Lämpötehontarve (W)		
Lämmitystapa	Ulkolämpötila $^{\circ}\text{C}$	
	-14	-29
Patteri/lattialämpö	24692	33134
Ilma	292364	230718
<b>YHT.</b>	<b>317056</b>	<b>263852</b>

### 5.1.2 Käyttövesi

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama on puhdistamolla suunnitelmien mukaan 0,6 l/s. Käyttövesi lämmitetään kiinteistön alkuperäisellä 300 litran käyttövesivaraajalla, jonka lämpöteho on arvioitu olevan noin 110 kW. Varaaja on liitetty kiinteistön lämmitysverkostoon ja lämpöteho tuotetaan kiinteistön lämmönlähteenä toimivien öljykattiloiden avulla.

## 5.2 Lämmöntalteenoton sijoitus jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessiin

Lämmöntalteenoton sijoituksella puhdistusprosessiin on merkittävä vaikutus lämmöntalteenottojärjestelmän toimintaan sekä hyötysuhteeseen. Lämmöntalteenoton sijoitukseen vaikuttavat lämmöntalteenoton kannalta jäteveden epäpuhtaudet sekä lämpötila.

Jäteveden lämpötila on korkeimmillaan, kun se on saapunut puhdistamolle ja laskee puhdistusprosessin aikana 1 - 3 °C. Lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhteen kannalta olisi kannattavinta ottaa lämpö jätevedestä ennen puhdistusprosessia, kun jäteveden lämpötila on korkeimmillaan. Lämmöntalteenoton sijoitus ennen puhdistusprosessia olisi riskialtista jäteveden puhdistusprosessille, koska jäteveden biologisessa puhdistuksessa bakteerien toiminnan tehokkuus perustuu pääosin vallitsevaan ympäristön lämpötilaan. Mikäli jäteveden lämpötila olisi tässä vaiheessa jo lämmöntalteenoton takia laskenut noin 2 °C, olisi riskinä bakteerien heikentynyt toiminta ja näin ollen puhdistusprosessin lopputuloksen huonontuminen.

Jätevesi sisältää myös suuren määrän epäpuhtauksia sekä kiintoainesta tullessaan puhdistamolle, joka osaltaan aiheuttaa haasteita lämmöntalteenottojärjestelmälle. Jäteveden sisältämien epäpuhtauksien ja kiintoaineksen määrä on suurin ennen puhdistusprosessia ja vastaavasti pienin puhdistusprosessin jälkeen, koska puhdistusprosessin tarkoitus on saattaa jäteveden koostumus sellaiseen pisteeseen, että siitä ei olisi haittaa ympäristölle eikä vesistöille.

Näillä perusteilla voimme hyväksyä lämmöntalteenoton pienemmän hyötysuhteen, kun jäteveden lämpötila laskee puhdistusprosessin aikana 1 – 3 °C ja sijoittaa lämmöntalteenottojärjestelmä puhdistusprosessin viimeisen vaiheen jälkeen. Lämmöntalteenotto tulisi tapahtua jälkiselkeytetystä jätevedestä.

### 5.3 Materiaalit

Käytettävillä materiaaleilla on merkittävä vaikutus järjestelmän toimintaan ja sen käyttöön. Näin ollen oikeilla materiaaleilla toteutettu järjestelmä toimii oikein, on ympäristöystävällinen ja sen käyttöön optimoinnin myötä kustannustehokas.

Teräsputkien materiaali voidaan valita ympäristönrasitusluokan mukaan. Ympäristönrasitusluokat määritellään pääosin ympäristön lämpötilan, kosteuden sekä epäpuhtauksien tason mukaan. Ympäristönrasitusluokka määrittyy siis ympäristön ilmaston mukaan, mikä tarkoittaa Toijalan jäteveden puhdistamon sisäilmastoa. Seuraavassa taulukossa on esitetty rasitusluokat ja sitä vastaavat ympäristöolosuhteet.

Taulukko 3. Ympäristönrasitusluokitukset. (Elwia, 2016)

Rasitusluokka	Ympäristön rasitus	Olosuhteet	
		Ulkona	Sisällä
<b>C1</b>	Hyvin lievä	-	Lämmitetyt kuivat tilat, joiden ilmassa on merkityksettömiä määriä epäpuhtauksia, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit.
<b>C2</b>	Lievä	Tilat, joissa ilman epäpuhtauksien määrä on alhainen, maaseutualueet.	Lämmittämättömät tilat, joissa on vaihteleva lämpötila ja kosteus, sekä joissa esiintyy jonkin verran kondensoitumista ja vähäisiä määriä ilman epäpuhtauksia, esim. urheiluhallit ja varastorakennukset.
<b>C3</b>	Kohtalainen	Ilmatilat, joissa on tietty määrä suolaa tai kohtuullisia määriä epäpuhtauksia. Kaupunkialueet sekä alueet, joissa jonkin verran teollisuutta. Myös alueet lähellä rannikkoa.	Tilat, joissa kohtuullinen kosteuspitoisuus ja tietty määrä tuotantoprosessien ilman epäpuhtauksia, esim. panimot, meijerit, pesulat.
<b>C4</b>	Ankara	Ilmatilat, joissa kohtalaisia määriä suolaa tai selviä määriä ilman epäpuhtauksia, esim. teollisuus- ja rannikkoalueet.	Tilat, joissa suuri ilmankosteus ja paljon ilman epäpuhtauksia tuotantoprosesseista, esim. kemianteollisuus, uimahallit, telakat.
<b>C5-1</b>	Hyvin ankara (teoll.)	Teollisuusalueet, joissa suuri ilmankosteus ja aggressiivinen ilma	Tilat, joissa lähes pysyvä kondenssi ja paljon epäpuhtauksia ilmassa.
<b>C5-M</b>	Hyvin ankara (meri)	Rannikko- ja offshorealueet, joilla suuri suolapitoisuus ilmassa.	Tilat, joissa lähes pysyvä kondenssi ja paljon epäpuhtauksia ilmassa.

Jätevedenpuhdistamon sisäilmaolosuhteet vastaavat tilasta riippuen, joko rasitusluokkaa C2, C4 tai C5-1. Rasitusluokan mukaan voimme valita putkimateriaalin seuraavasta taulukosta:

Taulukko 4. Rasitusluokkaa vastaava teräksen pintakäsittely/materiaali. (Elwia, 2016)

Pintakäsittely	Rasitusluokka
Sähkösinkitty	C1
Maalattu teräs	C2
Alusinkki Z150	C3
Kuumasinkitys SS-EN ISO 1461	C3, C4
Alusinkki Z185	C4
Ruostumaton, Haponkestävä	C5-1,C5-M

Taulukosta 4 luettuna teräsputkien materiaalina puhdistamolla tulisi olla tilasta riippuen, Maalattu teräs, alusinkki Z185, kuumasinkitty, ruostumaton teräs (AISI 304) tai haponkestävä teräs (AISI 316). Käytännössä LVI-tekniikassa ei käytetä alusinkittyjä putkia, joten käytettävät materiaalit ovat maalattu teräs, kuumasinkitty teräs, ruostumaton teräs tai haponkestävä teräs. Maalattua terästä voidaan käyttää tiloissa, joissa ilman kosteuden sekä lämpötilan vaihtelut ovat maltillisia, eikä ilmassa ole suuria määriä epäpuhtauksia. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi lämmönjakohuone ja erilaiset varastot. Kuumasinkittyä tai ruostumatonta terästä tulee käyttää tiloissa, joissa ilman kosteus ja lämpötilat vaihtelevat rajusti. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi puhdistamon allastilat. Haponkestävää terästä tulee käyttää jätevettä sisältävissä sovelluksissa. Jätevesi on hapekasta vettä, joka sisältää erilaisia määriä epäpuhtauksia ja näin ollen saattaa aiheuttaa korroosiolta suojaamattoman metallin syöpymisen.

Materiaalien valinnassa tulee ottaa myös huomioon teräksen sähkökemiallinen syöpyminen. Teräksen sähkökemiallista syöpymistä tapahtuu, kun kaksi eri jalousasteen omaavaa metallia on kosketuksissa toisiinsa samassa liuoksessa. Tällöin epäjalompi metalli omaa alhaisemman potentiaalin kuin jalompi metalli. Potentiaalieron myötä epäjalomman metallin atomi luovuttaa elektroneja liuoksessa oleville jalomman metallin ioneille ja näin aiheuttaa epäjalomman metallin syöpymisen. Metallien potentiaalieron kasvaessa myös syöpyminen nopeutuu. Metallien potentiaaliero (jalousaste) voidaan tarkastaa kuvasta 14. Eri jalousasteen omaavia metalleja voidaan liittää toisiinsa siten, että jalompi metalli on virtaussuunnassa jäljempänä. (Teräsrakenneyhdistys 2015, 2)

Ruostumaton teräs 18 Cr, 10 Ni, 3 Mo
Ruostumaton teräs 18 Cr, 8 Ni
Ruostumaton teräs 18 Cr
Ruostumaton teräs 13 Cr
Nikkelikupari 90 Cu, 10 Ni
Kupari
Alumiinimessinki 76 Cu, 22 Zn, 2 Al
Erikoismessinki 65 Cu, 31 Zn, 2 Pb, 2 Al, 1 Sn
Lyijymessinki 65 Cu, 33 Zn, 2 Pb
Punametalli 85 Cu, 5 Zn, 5 Pb, 2 Ni
Fosforikuparijuote 89 Cu, 6 P, 5 Ag
Lyijymessinki 58 Cu, 39 Zn, 3 Pb
Pehmeäjuote 97 Sn, 3 Ag
Hiiliteräs
Valurauta 95 Fe, 3 C, 2 Si
Alumiini
Alumiini 97 Al, 3 Mg
Sinkki

Kuva 14. Galvaaninen sarja (Ahola 2014, 20)

Putkimateriaalina teräksen lisäksi voidaan käyttää myös muovia. Muovin etuina on sen korroosiovapaus sekä sen sähköjohtamattomuus. Sisätiloissa muoviputket vaativat tiheämpää kannakointiväliä sen rakenteen joustavuuden vuoksi. Maahan asennettaessa muoviputken rakenteen joustavuus kuitenkin helpottaa huomattavasti suunnanmuutoksien toteuttamista.

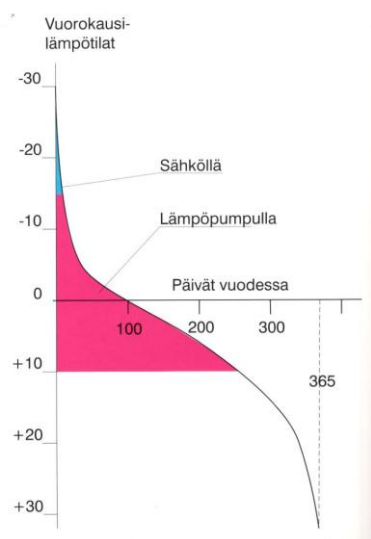
Lämmönsiirtimen käyttöään kannalta tulisi siirtimen olla materiaaliltaan haponkestävää terästä. Lämmönsiirtimen läpi virtaava jätevesi sisältää epäpuhtauksia sekä happea, jotka yhdessä kosteuden kanssa lisäävät merkittävästi metallin räsytystä ja altistavat sen korroosiolle. Altaaseen upotettava keruuputkiston asennuksen helppouden sekä altaan puhdistettavuuden kannalta materiaalina tulisi käyttää PE-muoviputkea, jota käytetään yleisesti maalämpösovelluksissa.

## 5.4 Lämmönjakohuone

Lämmönjakohuoneen pituus 5,4 metriä, leveys 3,7 metriä ja korkeus noin 2,5 metriä. Lämmönjakohuoneessa on tällä hetkellä kaksi öljykattilaa, joista LK01 on alkuperäinen ja LK02 jälkiasennettu vuonna 2010. Lämmönjakohuoneessa on myös 300 litran käyttövedenlämmitin. Lämmönjakohuoneesta lähtee kaksi lämmityspiiriä, jotka ovat ilmanvaihdon lämmityspiiri sekä patteri/lattialämmityspiiri.

### 5.4.1 Lämpöpumppu

Lämpöpumppu voidaan mitoittaa kattamaan koko lämmöntarve tai vain osa lämmöntarpeesta. Mikäli lämpöpumppu mitoitetaan kattamaan vain osan lämmöntehon tarpeesta, kutsutaan mitoitusta osatehomitoitukseksi. Lämpöpumpun mitoitus esimerkiksi 80 % koko lämpötehtotarpeesta kattaa 98 % kiinteistön kokonaislämmöntarpeesta. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 61) Seuraavassa kuvassa on esitetty lämpöpumpun osatehomitoitus.



Kuva 15. Lämpöpumpun osatehomitoitus (Perälä, O. & Perälä, R. 2013, 64).

Lämpöpumpun mitoituksessa tulee ottaa huomioon verkoston mitoituslämpötila, joka Toijalan jätevedenpuhdistamolla on + 70 - 50 °C. Osatehomitoituksessa voidaan lämpöpumpun mitoituksessa vielä pohtia halutut verkostolämpötilat. Lämpöpumppu voidaan siis mitoittaa siten, että se pyrkii nostamaan verkoston lämpötilan verkoston mitoituslämpötilaan, joka tässä tapauksessa on + 70 °C, tai vastaavasti mitoittaa se nostamaan lämpötilan vain + 60 °C. Teoreettisesti tarkasteltuna lämpökertoimen voi määrittää läm-



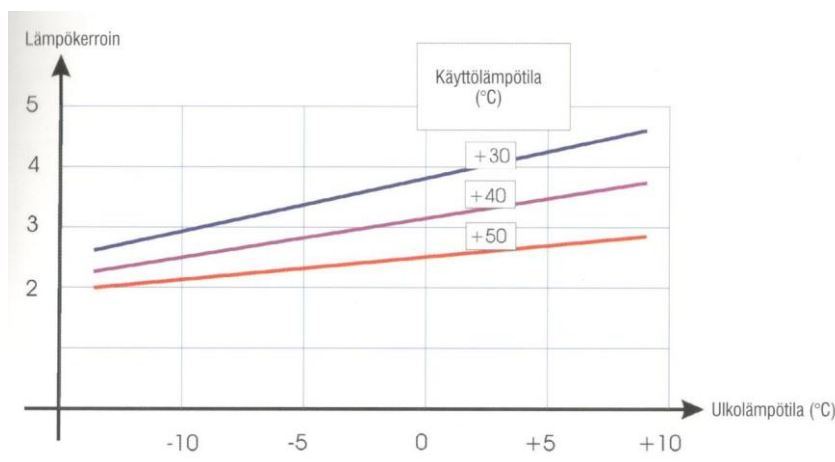
pötilojen mukaan kaavalla kolme. Kaavalla kolme lasketut lämpökertoimet eri verkostolämpötiloilla on esitetty seuraavassa taulukossa:

Taulukko 5. Laskennallinen COP-arvo eri verkostolämpötiloilla.

Haluttu verkostolämpötila (°C)	Puhdistetun jäteveden lämpötila (°C)	COP
70	5	5,3
65	5	5,6
60	5	6,1
55	5	6,6
50	5	7,2

Taulukon 5 COP-arvot ovat erittäin optimistisia, koska kaava ei huomioi kompressorin ja tai muiden komponenttien sähkönkulutusta. Taulukosta voidaan kuitenkin havaita COP-arvon kasvavan kun lämpötilaero verkostolämpötilan sekä puhdistetun jäteveden välillä pienenee.

Seuraavassa kuvassa on esitetty COP-arvoja eri verkostolämpötiloille:



Kuva 16. Lämpökerroin lämmönlähteen sekä verkostolämpötilan mukaan. (Perälä, O. & Perälä, R. 2013. 31)

Kuvasta 16 voimme huomata realistisen lämpökertoimen olevan noin 3, kun lämmönlähde on + 5 °C ja verkostolämpötila + 50 °C. Teollisuuskäyttöön tarkoitetuilla lämpöpumpuilla saatetaan päästä myös suurempiin lämpökertoimiin.

Verkostolämpötilan mitoituksessa tulee ottaa huomioon verkoston paluuveden lämpötila. Mikäli mitoituslämpötila + 70/50 °C toteutuu käytännössä ja lämpöpumppu on mitoitettu + 50 °C, voidaan ajautua lämmityskaudella tilanteeseen, jossa lämpöpumppu ei käy lainkaan. Tällöin kiinteistön lämmitystehon tuottaisi ainoastaan öljykattila, eikä lämpöpumppu sillä hetkellä maksa itseään takaisin.

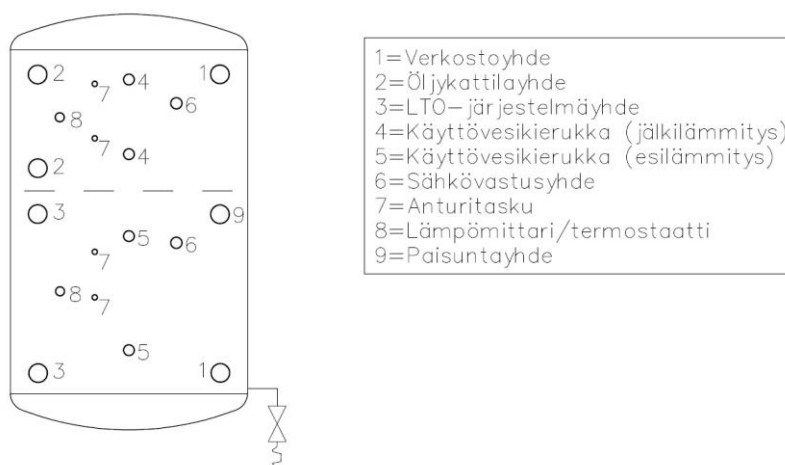
#### **5.4.2 Käyttövesi**

Puhdistamon käyttövesi lämmitetään tällä hetkellä lämmönjakohuoneeseen sijoitetulla kiinteistön alkuperäisellä vedenlämmittimellä. Vedenlämmittimen tekninen käyttöikä on arvioitu olevan noin 20 vuotta. Puhdistamolla olevan vedenlämmittimen tekninen käyttöikä on ylittynyt noin 20 vuodella, joten vedenlämmittimen uusiminen olisi ajankohdasta. (LVI- 01-10424, 2008)

Käyttövesi tulee Rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan lämmittää vähintään + 55 °C. Jos oletetaan, että lämpöhäviöt putkistossa laskevat lämpötilaa noin 3 °C, tulee lämminkäyttövesi lämmittää noin + 58 °C. Mikäli veden lämpötila putkistossa laskee alle + 55 °C, on riskinä veden bakteerikannan lisääntyminen. Lämpöpumpun mitoitus määrittää lämpimän käyttöveden lämmitystavan. Jos lämpöpumppu mitoitetaan esimerkiksi + 50 °C, voidaan käyttövesi esilämmittää LTO-järjestelmällä, jonka jälkeen vesi priimataan sähköisessä lämminvesivaraajassa + 58 °C. Jos lämpöpumpun mitoitus on + 58 °C, voidaan käyttöveden lämmittäminen hoitaa kokonaisuudessaan LTO-järjestelmällä, tällöin ei tarvittaisi erillistä sähköistä lämminvesivaraajaa.

#### **5.4.3 Energiavaraaja**

Energiavaraaja on vesisäiliö, jonka vesitilavuus vaihtelee varaajan koon ja kohteen mukaan noin 200 litrasta 5000 litraan. Energiavaraajan perusidea on verkoston vesitilavuuden kasvattaminen. Vesitilavuuden kasvatus toimii lämmitysjärjestelmän puskurina, jolloin esimerkiksi lämpöpumpun käyntijaksot pidentyvät ja järjestelmän hyötysuhde nousee. Energiavaraajan avulla voidaan myös käyttää useampaa lämmönlähdettä rinnakkain. Toijalan puhdistamolla LTO-järjestelmä ja öljylämmitys voidaan liittää samaan järjestelmään esimerkiksi Akvatermin AKVA GEO-hybridivaraajalla. (Akvaterm, 2016)



Kuva 17. Periaatekuva energiavaraajasta.

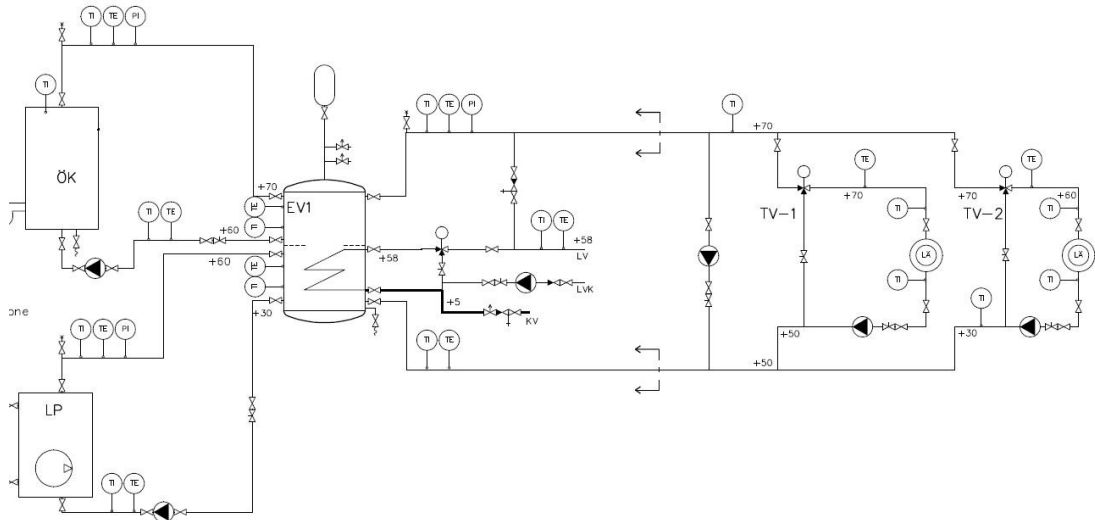
Kyseisen energiavaraajan kytkentä voidaan toteuttaa seuraavalla tavalla. LTO-järjestelmä kytketään varaajan alaosaan siten, että lämpöpumpulta tuleva vesi johdetaan varaajan keskiosassa sijaitseviin verkostoyhteisiin ja lämpöpumpulle menevä vesi otetaan varaajan alareunasta. Öljykattilalta tuleva vesi johdetaan varaajan yläreunaan ja otetaan kattilalle varaajan keskiosan verkostoyhteistä. Tällöin varaajaan muodostuu vedestä kaksi eri lämpöistä kerrosta. Varaajaan on asennettu käyttöveden lämmityskierukat sekä ylä- että alaosaan. Alempana sijaitsevaa kierukkaa voidaan käyttää käyttöveden esilämmitykseen ja ylempää käyttöveden kuumennukseen. Mikäli kiinteistön tarvittu lämpöteho on jossakin pisteessä vain vähän lämmitysjärjestelmän tuottamaa lämpötehoa suurempi, voidaan lämpö tuottaa energiavaraajaan asennettavilla sähkövastuksilla.

Energiavaraajan lisääminen verkostoon lisää verkoston vesitilavuutta, jolloin lämmitysverkoston veden lämpölaajeneminen tulee ottaa huomioon. Suurempi vesimassa tarvitsee suuremman tilan laajentua. Tämän takia myös paisunta-astioiden mitoitus on syytä tarkastaa. Paisunta-astioiden tekninen käyttöikä on LVI-ohjekortin mukaan 20 – 25 vuotta (LVI- 01-10424, 2008). Mikäli energiavaraajaa ei järjestelmään lisätä, olisi paisunta-astioiden kunto syytä kuitenkin tarkastaa.

#### 5.4.4 Esimerkkikytkentä

Lämmitysjärjestelmään lämmöntalteenotto voidaan kytkeä energiavaraajalla tai ilman energiavaraajaa. Kytkentätapaan vaikuttaa eniten lämmöntalteenottojärjestelmän tuottaman veden lämpötilan mitoitus. Mikäli lämmöntalteenotto tuottaa alle + 58 °C vettä ja

öljykattilaa ei käytetä kesällä, joudutaan käyttövettä kesäkaudella lisälämmittämään sähköisellä vesivaraajalla. Esimerkkikytkennöissä on merkitty urakkarajamerkinnällä piste, josta eteenpäin kytkentä poikkeaa alkuperäisestä kytkennästä. Alkuperäinen lämmitysjärjestelmän kytkentä on esitetty kuvassa 13. Seuraavaksi on esitetty erilaisia kytkennän toteutusvaihtoehtoja.

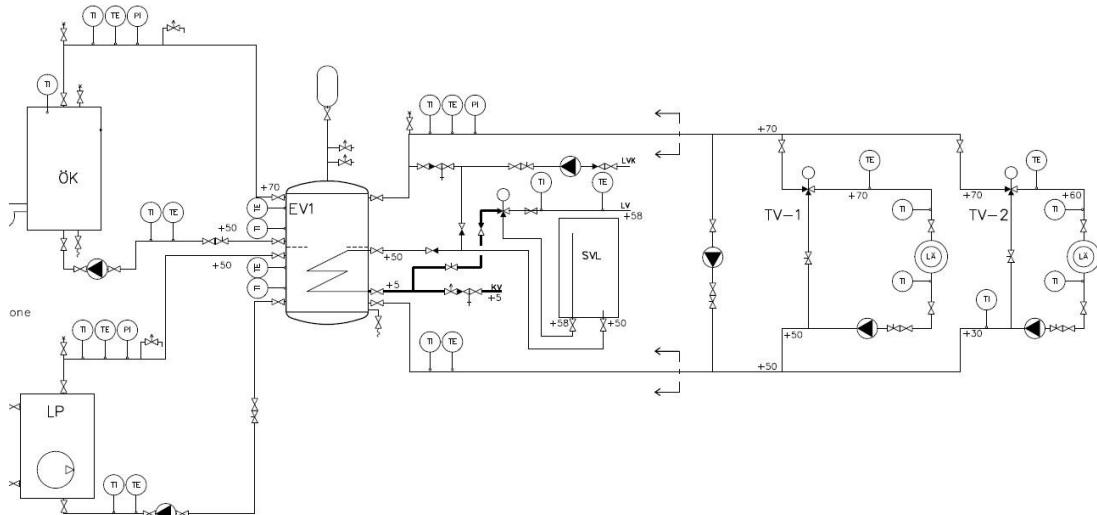


Kuva 18. Lämmönjakohuoneen kytkentä, mikäli LTO-järjestelmä on mitoitettu + 60 °C

Kuvan 18 kytkentäesimerkissä lämmöntalteenottojärjestelmä sekä öljykattila on kytketty energiavaraajaan siten, että öljykattila on liitetty energiavaraajan yläosaan ja lämpöpumppu energiavaraajan alaosaan. Lämmitysverkoston paluu on liitetty energiavaraajan alaosaan ja lämmitysverkoston meno lähtee energiavaraajan yläosasta. Kytkentäesimerkissä lämpöpumppu tuottaa + 60 °C vettä lämmitysverkostoon. Tällöin lämminkäyttövesi voidaan lämmittää kokonaisuudessaan energiavaraajassa. Energiavaraajan sisällä oleva vesi pyritään pitämään kerrostuneena siten, että varaajan alaosassa on + 60 °C ja yläosassa + 70 °C. Kuvan 18 kytkentäesimerkissä käyttöveden lämmittämiseen tarvittava teho eri lämmönlähteille on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 6. Eri lämmönlähteiden käyttämä teho käyttöveden lämmitykseen kuvan 18 kytkentäesimerkissä, kun lämpöpumpun COP-arvo on 3.

Käyttöveden lämmitys		
Lämmönlähde	Kesä kW	Talvi kW
Lämpöpumppu	38	38
Öljykattila	0	0
Sähkövaraaja	0	0
Yhteensä	38	38

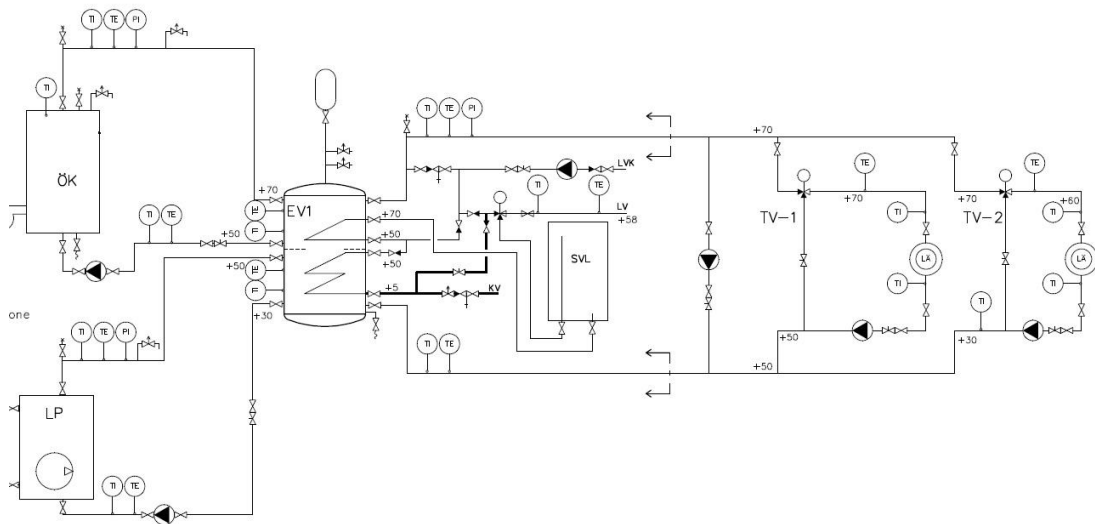


Kuva 19. Lämmönjakohuoneen kytkentävaihtoehto 1, mikäli LTO-järjestelmä on mitoitettu +50 °C

Kuvan 19 kytkentäesimerkki vastaa kuvan 18 kytkentää lukuun ottamatta käyttöveden lämmitystä. Kyseisessä esimerkikykennässä käyttövesi esilämmitetään + 50 °C energiavaraajan alaosassa. Tämän jälkeen esilämmitetty käyttövesi johdetaan sähköiseen lämminvesivaraajaan ja priimataan + 58 °C. Kyseisessä esimerkikykennässä energiavaraajan alaosan lämpötila olisi + 50 °C ja yläosan lämpötila + 70 °C. Kuvassa 20 on esitetty vaihtoehtoinen kytkentä, mikäli lämpöpumpun mitoitus on + 50 °C. Kuvan 19 kytkentäesimerkissä käyttöveden lämmittämiseen tarvittava teho eri lämmönlähteille on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 7. Eri lämmönlähteiden käyttämä teho käyttöveden lämmitykseen kuvan 19 kytkentäesimerkissä, kun lämpöpumpun COP-arvo on 3,5.

Käyttöveden lämmitys		
Lämmönlähde	Kesä kW	Talvi kW
Lämpöpumppu	29	29
Öljykattila	0	0
Sähkövaraaja	13	13
Yhteensä	41	41

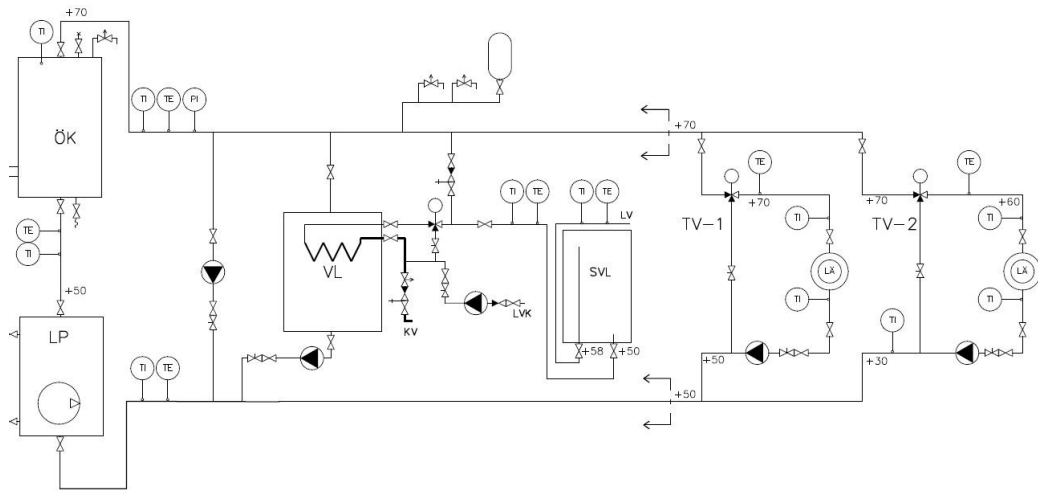


Kuva 20. Lämmönjakohuoneen kytkentävaihtoehto 2, mikäli LTO-järjestelmä on mitoitettu +50 °C

Kuvan 20 esimerkkikytkentä vastaa suurelta osin kuvan 19 kytkentäesimerkkiä. Kuvan 20 kytkentäesimerkissä käyttövesi esilämmitetään energiavaraajan alaosassa, jonka jälkeen se johdetaan vielä varaajan yläosan kautta sähköiseen lämminvesivaraajaan. Kytkennällä voidaan lämmityskaudella hyödyntää energiavaraajan yläosan lämpöä käyttöveden priimaamisessa 50 °C → 58 °C sähköisen lisälämmityksen sijasta. Kuvan 20 kytkentäesimerkissä käyttöveden lämmittämiseen tarvittava teho eri lämmönlähteille on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 8. Eri lämmönlähteiden käyttämä teho käyttöveden lämmitykseen kuvan 20 kytkentäesimerkissä, kun lämpöpumpun COP-arvo on 3,5.

Käyttöveden lämmitys		
Lämmönlähde	Kesä kW	Talvi kW
Lämpöpumppu	29	29
Öljykattila	0	13
Sähkövaraaja	13	0
Yhteensä	41	41



Kuva 21. Lämmönjakohuoneen kytkentävaihtoehto, LTO-järjestelmä on mitoitettu +50 °C ilman energiavaraajaa

Kuvan 21 esimerkkikytkennässä on esitetty vaihtoehtoinen kytkennän toteutustapa ilman energiavaraajaa. Kytkennässä lämpöpumppu on kytketty sarjaan öljykattilan kanssa. Tällöin lämmitysverkoston vesi lämmitetään + 50 °C LTO-järjestelmän lämpöpumpulla, jonka jälkeen tarvittaessa nostetaan + 70 °C öljykattilan avulla. Jos öljykattilaa ei käytetä kesäkaudella, joudutaan käyttövettä priimaamaan vielä sähköisellä lämminvesivaraajalla, jotta saavutetaan rakentamismääräyksien mukainen lämpimän käyttöveden lämpötila. Kuvan 21 esimerkkikytkennässä käyttöveden lämmittämiseen tarvittava teho voidaan katsoa taulukosta 8.

Kahden eri lämmönlähteen yhdistämisessä samaan lämmitysjärjestelmään on suositeltavaa käyttää energiavaraajaa. Energiavaraajan avulla saadaan lämpöpumppu käymään pidempiä jaksoja, jolloin lämpöpumpun elinkaari voidaan olettaa pidemmäksi kuin ilman energiavaraajaa. Energiavaraaja myös kasvattaa vesitilavuutta lämmitysverkostossa, joka osaltaan lisää lämpöenergian varastointimahdollisuuksia.

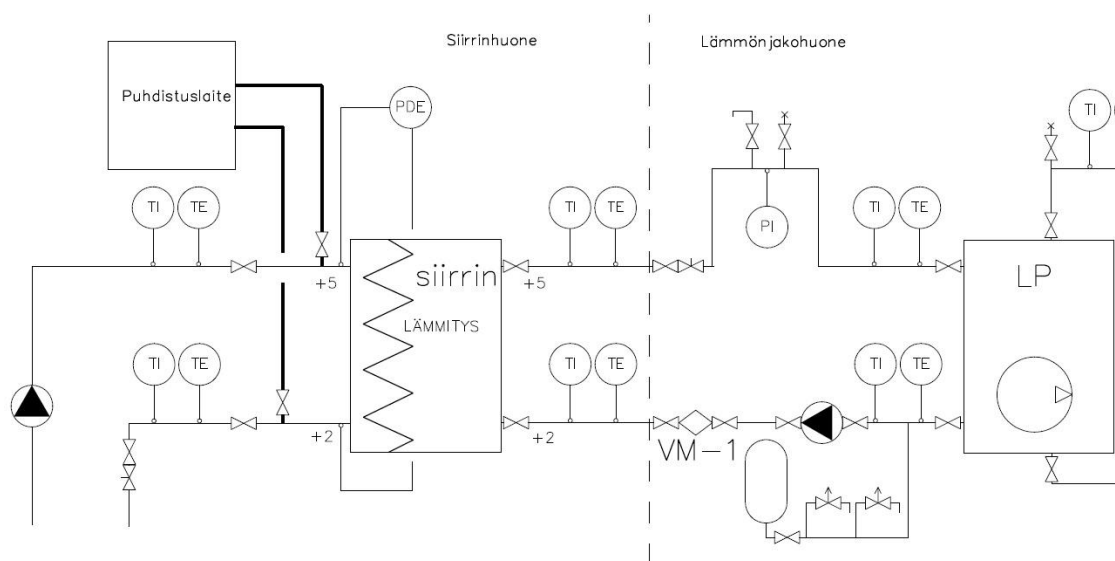
Taulukoista 6, 7 ja 8 voidaan havaita, että pelkällä lämpöpumpulla lämmitettäessä Tarvitaan tehoa 3 kW vähemmän kuin yhdistelmä lämmityksellä. Tämä johtuu pääosin lämpöpumpun lämpökertoimesta, joka taulukon laskelmissa oli 3. Lämpöpumpun lämpökerroin on selitetty opinnäytetyön kappaleessa 4.1.3.

## 5.5 Lämmöntalteenoton toteutustapa 1

Toteutustavassa yksi lämmönsiirto jätevedestä on tarkoitus toteuttaa lämmönsiirtimen avulla. Lämmönsiirrin on suunniteltu asennettavaksi kloorikontaktialtaan vieressä sijaitsevaan varastoon, jonka mitat ovat 2,7 m x 3,8 m. Jätevesi johdetaan lämmönsiirtimelle pumppaamalla. Lämpöpumppu sijoitettaisiin purettavan öljykattilan tilalle lämmönjakuhuoneeseen. Lämmönsiirtimen ja lämpöpumpun väliselle etanolipiirille on kaksi mahdollista kulkureittiä. Etanolipiiri voidaan sijoittaa kulkemaan maassa puhdistamon ulkopuolelle tai kulkemaan puhdistamon läpi. Menetelmän 1 pääkomponentit olisivat: Lämmönsiirrin, lämmönsiirtimen puhdistuslaitteisto (mikäli lämmönsiirtimessä ei ole integroitua puhdistusta) sekä lämpöpumppu.

### 5.5.1 Esimerkkikytkentä

Seuraavassa kuvassa (kuva 22) on esitetty esimerkkikytkentä siirtimellä toteutetussa lämmöntalteenotossa.



Kuva 22. Siirtimellä toteutettu kytkentä lämpöpumppuun

Esimerkkikytkennässä puhdistettu jätevesipiiri sijaitsee kuvan vasemmassa reunassa. Piiriin on liitetty puoliautomaattinen puhdistuslaitteisto, jossa venttiilit suljetaan manuaalisesti. Vaihtoehtoisesti venttiileitä voidaan ohjata moottoritoimisesti, jolloin on kyse automaattisesta puhdistuslaitteistosta. Siirtimen puhdistustarve voidaan tunnistaa siirtimen yli mitattavalla paine-erolla. Jätevesipiiri tulee varustaa tulevan ja lähtevän jäteve-



den lämpötilan mittauksella, jotta vältetään jäteveden jäätymisriski. Etanolipiiri lämmönsiirtimen sekä lämpöpumpun välillä on kuvan keskiosassa. Etanolipiiri tulee varustaa virtausmittarilla, lämpömittarilla, lämpöanturilla sekä painemittarilla kuvan osoittamalla tavalla. Kun on kyse suljetusta piiristä, tulee se myös varustaa ilmanpoistimella, varoventtiileillä sekä paisunta-astialla.

### 5.5.2 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimellä on tärkeä tehtävä lämmöntuotannossa, sillä sen toiminta vaikuttaa suoraan lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhteeseen. Lämpöenergiaa on tarkoitus siirtää puhdistetusta jätevedestä lämmitysjärjestelmän käyttöön. Puhdistetun jäteveden lämpötila voi lämmityskaudella laskea noin  $+ 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ongelmien välttämiseksi on lämmönsiirtimen mitoituksessa huomioitava siirtimeltä lähtevän jäteveden lämpötila, joka ei saisi jäätymisvaaran vuoksi, laskea alle  $+ 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Puhdistetussa jätevedessä on kiintoainetta noin  $10\text{ mg/l}$ . Kiintoaineksen on kuvailtu tarttuvan pinnoille erittäin tehokkaasti. Tämä tulee huomioda lämmönsiirtimen noin  $10 - 20\%$  ylimitoituksena. Kiintoaineksen tarttuvuus aiheuttaa lämmönsiirtimelle erityisvaatimuksia, kuten esimerkiksi lämmönsiirtimen puhdistus ja huolto tulisi olla suhteellisen vaivatonta.

Markkinoilla on erilaisia jätevesikäyttöön tarkoitettuja lämmönsiirtimiä. Siirtimet on varustettu erilaisilla toiminnoilla. Puhdistus voi olla siirtimestä riippuen, joko automaattinen tai manuaalisesti toimiva. Jätevesikäyttöön tarkoitettuja siirtimiä ovat muun muassa: Finess X-tube (Kuva 23), ThermX-lämmönsiirrin (Kuva 24) sekä Huber Rowin (Kuva 25).



Kuva 23. Finess X-Tube-lämmönsiirrin. (Finess energy Oy. 2016)

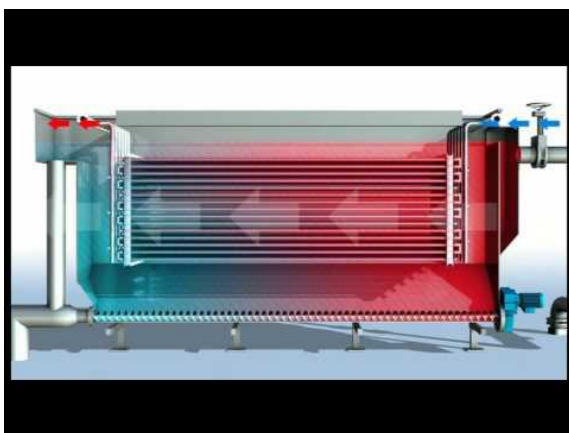
Finess X-tube on perinteinen kaksoisputkilämmönvaihdin, jossa fluidit virtaavat vastakkaisiin suuntiin. Kyseinen lämmönsiirrin on käytössä Porin jätevedenpuhdistamon

lämmöntalteenottojärjestelmässä. Lämmönsiirrin ei tarvitse ulkopuolista energiaa sen yksinkertaisuuden ansioista. Lämmönsiirtimeen puhdistus on mahdollista toteuttaa kemiallisesti tai mekaanisesti.



Kuva 24. Therm-X-lämmönsiirrin. (Termihaukka. 2016)

Therm-X-lämmönsiirtimeessä lämpö siirtyy levyjen välissä kulkevasta nesteestä levyjen sisällä kulkevaan nesteeseen. Levyt puhdistetaan siirtimeen integroidulla puhdistusmekanismilla. Puhdistusmekanismi vaatii toimiakseen sähköliitännän.



Kuva 25. Huber RoWin-lämmönsiirrin (Huber. 2016)

Huber RoWin-lämmönsiirtimeen toiminta perustuu upotettuun lämmönkeruuputkistoon. Lämmönsiirtimeen läpi virtaa neste, josta lämpöenergia siirretään keruuputkiston avulla lämmönkeruupiirin nesteeseen. Siirtimeen pohjalla on poistoruuvi, joka poistaa pohjalle laskeutuneen sakan. Poistoruuvi vaatii toimiakseen sähköliitännän.

### 5.5.3 Kustannusarvio

Kustannukset muodostuvat lämpöpumpusta, lämmönsiirtimestä, asennuksista sekä materiaaleista. Kustannusarvion laskennassa on käytetty Talotekniikka-alan, LVI-toimialan työehtosopimuksen asennuksien normituntiaikoja. Työehtosopimuksen normituntiajat on laskettu siten, että asennukset täyttävät LVI-RYL:n sekä suunnitelmien vaatimukset. Lämpöpumpun kustannukset on jätetty arviosta pois, koska lämpöpumpun mitoitus vaikuttaa lämpöpumpun kustannuksiin. Lämmönsiirtimien hinnat on saatu Hämeenlinnan seudun vesi Oy:ltä. Materiaalien hinnat on saatu eri tukkureiden verkkohinnastoista.

Mikäli etanolipiiri lämmönsiirtimeltä lämpöpumpulle sijoitetaan puhdistamorakennuksen sisälle, on urakan tuntimäärä arvioitu olevan noin 340 tuntia. Seuraavassa taulukossa on esitetty kustannusarvio edellä mainitulla tuntimäärällä, mikäli urakoitsijan tuntiveloitukset on 40 euroa.

Taulukko 9. Kustannusarvio, kun lämpöpumpun ja lämmönsiirtimen välinen etanolipiiri on sijoitettu puhdistamon sisäpuolelle.

<b>Kustannusarvio (€) etanolipiiri sisätiloissa</b>			
Kohde	Rowin	ThermX	Xtube
Lämmönsiirrin	76200	35800	26200
Asennukset	13800	13800	13800
Materiaalit	12200	12200	12200
YHT.	<b>102200</b>	<b>61800</b>	<b>52200</b>

Mikäli etanolipiiri lämmönsiirtimeltä lämpöpumpulle sijoitetaan puhdistamon ulkopuolelle maahan, on urakan arvioitu tuntimäärä noin 130 tuntia. Seuraavassa taulukossa on esitetty kustannusarvio edellä mainitulla tuntimäärällä, mikäli urakoitsijan tuntiveloitukset on 40 euroa.

Taulukko 10. Kustannusarvio, kun lämpöpumpun ja lämmönsiirtimen välinen etanolipiiri on sijoitettu puhdistamon ulkopuolelle.

<b>Kustannusarvio (€) etanolipiiri maassa</b>			
Kohde	Rowin	ThermX	Xtube
Lämmönsiirrin	76200	35800	26200
Asennukset	5500	5500	5500
Materiaalit	12000	12000	12000
YHT.	<b>93700</b>	<b>53300</b>	<b>43700</b>

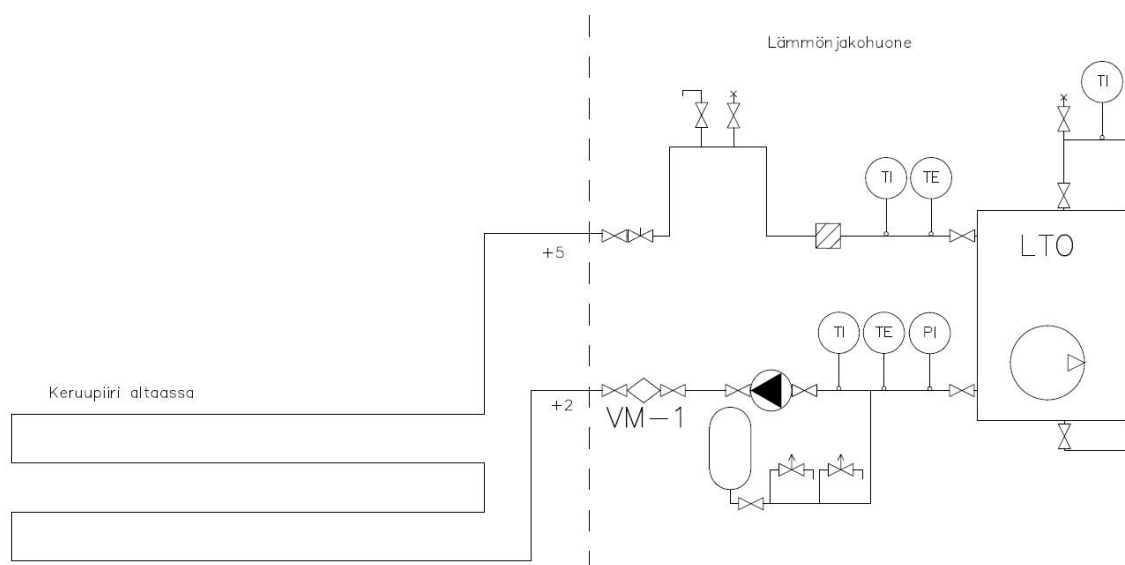
Taulukoissa 9 ja 10 esitetyistä kustannusarvioista voidaan huomata Xtube lämmönsiirtimellä varustetun lämmöntalteenottolaitteiston olevan vaihtoehtoista halvin. Mikäli etanolipiiri sijoitetaan laitoksen sisätiloihin kasvavat kustannukset noin 10 000 eurolla. Kustannusero muodostuu pääasiassa asennuskustannusten pienenemisestä. Siirtimien hinnassa ei ole huomioitu puhdistuslaitteistoja, mikäli sitä ei ole lämmönsiirtimeen valmiiksi liitetty.

## 5.6 Lämmöntalteenoton toteutustapa 2

Toteutustavassa kaksi lämpöenergia on tarkoitus ottaa talteen kloorikontaktialtaaseen upotettavasta lämmönkeruupiiristä. Tämä toteutusmuoto vastaa pääperiaatteeltaan maalämpöpumppu-lämmitysjärjestelmää, jossa lämmönkeruupiiri kerää lämpöenergian vesistöstä. Lämpöpumppu sijoitettaisiin lämmönjakohuoneeseen ja keruupiirinneste johdettaisiin lämpöpumpulle rakennuksen ulkopuolella maahan sijoitettavalla siirtoputkistolla. Toteutustapa kahden pääkomponentit ovat: lämpöpumppu, keruuputkisto sekä energiavaraaja.

### 5.6.1 Esimerkkikytcentä

Seuraavassa kuvassa (kuva 26) on esitetty keruupiirillä toteutetun lämmöntalteenoton kytkentä lämpöpumppuun.



Kuva 26. Keruupiirillä toteutetun lämmöntalteenoton kytkentä lämpöpumppuun

Keruupiirillä toteutetun lämmöntalteenoton kytkentä on yksinkertaisempi kuin siirtimellä toteutetun lämmöntalteenottojärjestelmän. Keruupiiri tulee varustaa virtausmittarilla, lämpömittarilla, lämpöanturilla sekä painemittarilla. Suljetussa piirissä tulee olla myös paisunta-astia, varoventtiilit sekä automaattinen ilmanpoistaja. Keruupiirin paluupuolella olevalla linjasäätöventtiilillä säädetään keruupiirin suurin virtaama.

### **5.6.2 Keruuputkisto**

Keruuputkisto upotetaan kloorikontaktialtaaseen, jonka pituus on 14 metriä, leveys 4,5 metriä ja syvyys noin 2 metriä. Kloorikontaktialtaassa on jatkuvasti virtaava vesi, joka osaltaan parantaa lämmön siirtymistä vedestä keruupiirin nesteeseen. Vastaavasti virtaus saattaa aiheuttaa keruupiirin liikkumisen altaassa. Tämä tulee estää keruupiirin kiinnityksellä altaaseen. Jätevedessä on kiintoainesta noin 10 mg/l, joka tarttuu myös keruuputkistoon tehokkaasti ja näin ollen laskee keruupiirin lämmönsiirtokykyä ja lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhdetta. Kloorikontaktiallas puhdistetaan manuaalisesti 3 – 4 kertaa vuodessa. Puhdistuksen ajaksi keruuputkisto tulisi olla irrotettava, jotta se ei aiheuttaisi kohtuutonta haittaa altaan puhdistukselle.

### **5.6.3 Kustannusarvio**

Kustannukset koostuvat lämpöpumpusta, keruuputkistosta, energiavaraajasta sekä asennuksista ja materiaaleista. Kustannuslaskennassa on käytetty Talotekniikka-alan, LVI-toimialan työehtosopimuksen asennuksien normituntiaikoja. Työehtosopimuksen normituntiajat on laskettu siten, että asennukset täyttävät LVI-RYL:n sekä suunnitelmien vaatimukset.

Keruupiirillä toteutetussa lämmöntalteenotossa ei ole mielekästä sijoittaa etanolipiiriä sisätiloihin, koska kloorikontaktiallas sijaitsee puhdistamon ulkopuolella. Ja kuten taulukoista 9 ja 10 voidaan huomata, kustannukset ovat suuremmat kun piiri sijoitetaan puhdistamon sisäpuolelle. Keruupiirillä toteutetussa lämmöntalteenottojärjestelmässä, on urakan arvioitu tuntimäärä noin 100 tuntia. Seuraavassa taulukossa on esitetty kustannusarvio edellä mainitulla tuntimäärällä, mikäli urakoitsijan tuntiveloitus on 40 euroa.

Taulukko 11. Keruuputkistolla toteutettu lämmöntalteenottojärjestelmä.

<b>Kustannusarvio (€) Keruuputkisto</b>	
Keruuputkisto	600
Asennukset	4100
Materiaalit	7600
YHT.	<b>12300</b>

## 5.7 Lämmöntalteenotto menetelmien vertailu

Toteutustapa, jossa lämmöntalteenottoon käytetään kloorikontaktialtaaseen upotettavaa keruuputkistoa, on investointikustannuksiltaan 30 000 euroa halvempi kuin halvimmalla lämmönsiirtimellä toteutettu LTO-järjestelmä. Kloorikontaktialtaaseen upotettavan keruuputkiston puhdistus aiheuttaa jätevedenpuhdistamon henkilökunnalle erittäin paljon työtä. Kloorikontaktiallas puhdistetaan 3 – 4 kertaa vuodessa, mutta keruuputkiston pinnan puhtaus vaikuttaa suoraan LTO-järjestelmän hyötysuhteeseen, joten putkiston puhdistus tulisi suorittaa arviolta kerran kuukaudessa. Lämmönsiirtimellä toteutettavassa tavassa voidaan lämmönsiirrin varustaa automaattisella tai puoliautomaattisella puhdistuksella. Esimerkiksi Porin puhdistamon LTO-järjestelmässä on automaattinen lämmönsiirtimen puhdistus. Automaattinen puhdistus nostaa huomattavasti järjestelmän investointikustannuksia, mutta esimerkiksi puoliautomaattinen puhdistus, jolloin puhdistamon henkilökunta laittaa manuaalisesti lämmönsiirtimen sulut kiinni, avaa puhdistuslaitteiston sulut ja laittaa kemiallisen puhdistimen päälle, ei vaadi suuria investointikustannuksia. Keruuputkiston tulisi myös olla irrotettava, jotta altaan puhdistus ei aiheuta kohtuutonta vaivaa henkilökunnalle ja allas saadaan puhdistettua asianmukaisesti. Kun keruuputkisto irrotetaan järjestelmästä, joudutaan piiri tyhjentämään ainakin osittain. Tällöin lämmönsiirtonestettä joudutaan lisäämään järjestelmään kohtuuttoman usein. Seuraavassa taulukossa on esitetty kustannusarvio keruuputkiston puhdistuksesta:

Taulukko 12. Lämmönkeruupiirin kustannusarvio.

<b>Puhdistustyön kustannusarvio</b>				
Työtunnit	Tuntilaskutus €	Kustannus/puhdistus €	Kustannus/vuosi ilman lämmönsiirtonestettä €	Kustannus/vuosi lämmönsiirtonesteen kanssa €
12	40	480	5760	6000

Kustannusarvion laskennassa on oletettu, että keruupiirin puhdistamiseen menee kokonaisuudessaan yhdeltä ihmiseltä 12 tuntia ja tuntilaskutus olisi 40 euroa tunnissa. Lämmön siirtonestettä oletetaan lisättävän piiriin neljä kertaa vuodessa altaan puhdistuksen yhteydessä, kun keruuputkisto joudutaan irrottamaan. Lämmönsiirtonesteen hinta on saatu etanolikauppa.altia.fi-sivuilta. Lämmönsiirtonesteenä on oletettu käytettävän Naturet - 17 °C Geosafe valmista lämmönsiirtonesteliuosta. Puhdistustyön kustannusarvoksi saadaan 6000 euroa vuodessa. Investointikustannusarvion mukaan keruuputkiston investointikustannukset ovat noin 30 000 euroa pienemmät kuin halvimmallalla siirtimellä toteutettava lämmöntalteenottojärjestelmä. Mikäli rahan arvon inflaatio jätetään huomioimatta, maksaa siirtimellä toteutettava lämmöntalteenottojärjestelmä itsensä takaisin noin viidessä vuodessa.

Lämmönsiirtimellä toteutettava järjestelmä on kalliimpi, mutta ei vaadi puhdistamon henkilökunnalta työtunteja kunnossapitoa varten. Tässä vaiheessa parempi ratkaisu lämmöntalteenottojärjestelmään on siirtimellä toteutettu ratkaisu. Lämmönsiirtonesteen putkiston reitti siirtimeltä lämpöpumpulle on viisainta sijoittaa maahan, koska puhdistamon läpi kulkeva putkisto on haasteellinen toteuttaa, kun putket kulkevat altaiden yli tai vierestä. Lisäksi otetaan huomioon HS-Vesi Oy:n toimiala. HS-vesi Oy:llä on vahva kokemus maahan sijoitetuista putkistoista ja kunnallistekniikasta, jolloin asennuksissa voidaan hyödyntää yrityksen omaa osaamista.

## 6 POHDINTA

Kiristyvien päästötavoitteiden, ympäristöystävällisyyden sekä kustannustehokkuuden takia jo olemassa olevan lämpöenergian hyödyntäminen on erittäin kannattavaa. Esimerkiksi lämpöpumpun avulla saadaan matalassa lämpötilassa olevista lämmönlähteistä tuotettua jopa kolminkertainen määrä lämpöenergiaa suhteessa kulutettuun energiamäärään.

Opinnäytetyöstä voidaan havaita, että kunnallisessa jätevedessä on potentiaalista hyödyntämätöntä lämpöenergiaa. Lämpöenergia on kuitenkin matalassa lämpötilassa, eikä sitä voida hyödyntää sellaisenaan kiinteistön lämmitysverkostossa. Nykypäivän lämpöpumpputeknologia on kuitenkin kehittynyt siihen pisteeseen, että lämpöpumppua hyödyntämällä saadaan lämpöenergiaa talteen myös jätevesisovelluksista. Suurempi haaste lämmöntalteenotossa jätevedestä on kuitenkin jäteveden sisältämät epäpuhtaudet. Jäteveden sisältämät epäpuhtaudet aiheuttavat haasteita etenkin lämmönsiirrolle jätevedestä. Epäpuhtauksien johdosta jätevettä ei voida sellaisenaan pumpata suoraan lämpöpumpulle, vaan jäteveden sekä lämpöpumpun välille tarvitaan nestepiiri, joka siirtää lämpöä jätevedestä lämpöpumpulle. Lämmönsiirtimen tai keruuputkiston likaantuminen vaikuttaa suoraan lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhteeseen, joten niiden puhtaana pysymiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Jätevedenpuhdistamoilla on jätevedestä saatava lämpöenergia mahdollista käyttää oman kiinteistön lämmitykseen, mutta suurissa jätevedenpuhdistamoissa olisi myös mahdollista siirtää jäteveden sisältämä lämpö esimerkiksi kaukolämpö- tai aluelämpöverkkoon, jolloin kiinteistöt, joista jäteveden lämpö on peräisin, käyttäisivät omaa hukkalämpöään hyödyksi. Asiaa vaikeuttaa, mikäli alueen kaukolämpö on peräisin sähkön yhteistuotannosta, jolloin sähkön sivutuotteena syntynyt lämpö siirretään kaukolämpöverkkoon. Tällöin lämpöä on yleensä tarjolla kaukolämpöverkkoon jo ylitarpeen.

Nykypäivänä markkinoilla on myös kiinteistökohtaisia jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä. Usein kiinteistökohtaiset lämmöntalteenottojärjestelmät on suunniteltu lämmittämään tai esilämmittämään lämmintä käyttövetä. Mikäli lämmöntalteenotto kiinteistökohtaisesti lisääntyy, saattaa riskinä olla kunnallisen jäteveden lämpötilan kriittinen lasku. Tällöin on vaarana jäteveden puhdistusprosessin heikkeneminen, kun biolo-



gisessa puhdistuksessa käytettävien bakteerien toiminta heikentyy lämpötilan laskun myötä.

Toijalan jätevedenpuhdistamolla lämpöpumpun verkostoon tuottaman lämpötilan mitoitus on ratkaisevassa asemassa kytkentää mietittäessä. Yksinkertaisin ratkaisu olisi mitoittaa lämpöpumppu tuottamaan noin  $+ 60\text{ °C}$  vettä lämmitysverkostoon (kuva 18). Tällöin ei tarvita erillistä sähköistä lämminvesivaraajaa. Mitoituksessa on kannattavaa kuitenkin tutkia lämpökertoimen suuruus, kun verrataan mitoitusta esimerkiksi  $+ 50\text{ °C}$  tai  $+ 60\text{ °C}$  välillä. Energiavaraajan käyttö kytkennässä on suositeltavaa. Energiavaraajan avulla saadaan lämpöenergia varastoitua sen vesimassaan ja sen myötä puskuria lämmitysverkostoon ja lämpöpumppu käymään pidempiä jaksoja kerrallaan. Mikäli lämpöpumpun mitoitus on  $+ 50\text{ °C}$ , on kuvan 20 kytkentäesimerkki energiatehokkain, kun lämmityskaudella voidaan hyödyntää energiavaraajan yläosassa olevaa lämpöä käyttöveden lämmitykseen sähköisen lisälämmityksen sijaan.

Jos vertaillaan energialähteiden hintoja/kilowattitunti, saadaan sähköhinnaksi 12.4.16 sähkönhinta.fi-sivulta 12,2 snt/kWh ja öljyn litrahinnaksi 15.3.16 oil.fi-sivulta 73 snt/l. Öljyn litrahinnasta voimme laskea öljyn hinnan/kilowattitunti, joka on 7.2 snt/kWh. Tämän avulla voimme päätellä, että lämpöpumpulla lämmittäminen on kustannustehokkaampaa niin kauan kuin lämpöpumpun lämpökerroin pysyy yli 1.7 yksikössä.

## LÄHTEET

Ahola, S. 2014. Putkimateriaalien kestävyys LVI-järjestelmissä. Talotekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööritoimisto.

Akvaterm. 2016. Akvaterm, tuoteluettelo. Luettu 28.3.2016.  
[http://www.akvaterm.fi/files/2015\\_katalogi\\_v10\\_20151218\\_web.pdf](http://www.akvaterm.fi/files/2015_katalogi_v10_20151218_web.pdf)

Elwia. 2016. Ympäristöluokitus, Taulukko 3 ja 4. Luettu 23.3.2016.  
<http://www.elwia.fi/fi/tuotetuki/ymparistorasitusluokitus/>

Euroopan Parlamentti Palveluksessa. 7.2015. Faktatietoja Euroopan unionista, Energiatietokanta. Luettu 26.1.2016.  
[http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.7.3.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.3.html)

Finess Energy Oy. 2016. Heat, LTO-laitteistot. Luettu 26.1.2016.  
<http://www.finess.fi/fi/heat/lto-laitteistot/>

HS-vesi. 2016. Toijalan puhdistamo. Luettu 15.1.2016.  
<http://www.hsvesi.fi/Kiinteasivu.asp?KiinteasivuID=4071&NakymaID=242>

Huber. 2016. Huber RoWin-lämmönsiirrin. <http://www.huber.de/de/produkte/energie-aus-abwasser/huber-abwasserwaermetauscher-rowin.html>

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013. Tulostettu 9.2.2016

Kangas, A. 2004. Jätevedenpuhdistamoiden toiminta ja toteutukset. Helsinki: Vesi ja viemäriyhdistys

Lampinen, M. J. 2005. Lämmönsiirtimien mitoitus. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan laitos, Sovelletun termodynamiikan laboratorio.

Lappalainen, M, 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja, Suunnittelu ja rakentaminen. Tampere: Tammerprint Oy.

Leimu, M. Käyttöinsinööri. 2015. Haastattelu 26.12.2015. Haastattelija Leimu, H. Hämeenlinna.

LVI 01-10424. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitot. Rakennustietosäätiö. Luettu 6.4.2016.

Motiva. 16.7.2015. Rakennusten energiatehokkuus direktiivi (2010/31/EU). Luettu 26.1.2016.  
[http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten\\_energiatehokkuusdirektiivi](http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi)

Motiva. 14.8.2015. Ikkunoiden energiatehokkuus. Luettu 27.1.2016.  
[http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/vaikuta\\_hankinnoilla/ikkunoiden\\_energialuokitus/ikkunoiden\\_energiatehokkuus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/vaikuta_hankinnoilla/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_energiatehokkuus)

Nuutinen, J. 1999. Lämmönvaihtimien likaantumisen ja ylimenokorroosion tutkiminen raakaöljyn tislauksessa. Kemiantekniikan osasto Prosessitekniikan laitos. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Pajunen, M. 2016. Käyttöinsinööri Porin jätevedenpuhdistamo. Haastattelu 3.3.2016. Haastattelija Leimu, H. Pori.

Perälä, O. & Perälä, R. 2013. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.

Rakentajat.fi. 9.9.2013. Passiivitalo on taloudellisesti kannattava ratkaisu. Luettu 27.1.2016. [http://www.rakentaja.fi/artikkelit/10442/passiivitalo\\_isover.htm](http://www.rakentaja.fi/artikkelit/10442/passiivitalo_isover.htm)

Salminen, S. Kotitalousveden lämmöntalteenotto. Konetekniikan koulutusohjelma. Oulun yliopisto. Diplomityö.

Sulin, T. 2015. Käyttöpäällikkö. Haastattelu 8.12.2015. Haastattelija Leimu, H. Hämeenlinna.

Termihaukka. 2016. Therm-X lämmönsiirrin likaiselle nesteelle. <http://www.termihaukka.fi/thermx/>

Teräsrakenneyhdistys. 2015. Teräs kosketuksissa muiden materiaalien kanssa- korroosionkestävyys. Luettu 10.4.2016.

Theodore, L. 2011. Heat transfer applications for the practicing engineer. Hoboken, NJ: Wiley.

Tilastokeskus. 2015. Rakennuskanta 2014 & Rakennuskanta 2013. Luettu 26.1.2016 [http://tilastokeskus.fi/til/rakke/2014/rakke\\_2014\\_2015-05-28\\_kat\\_002\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/rakke/2014/rakke_2014_2015-05-28_kat_002_fi.html)  
[http://www.stat.fi/til/rakke/2013/rakke\\_2013\\_2014-05-23\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2013/rakke_2013_2014-05-23_kat_002_fi.html)

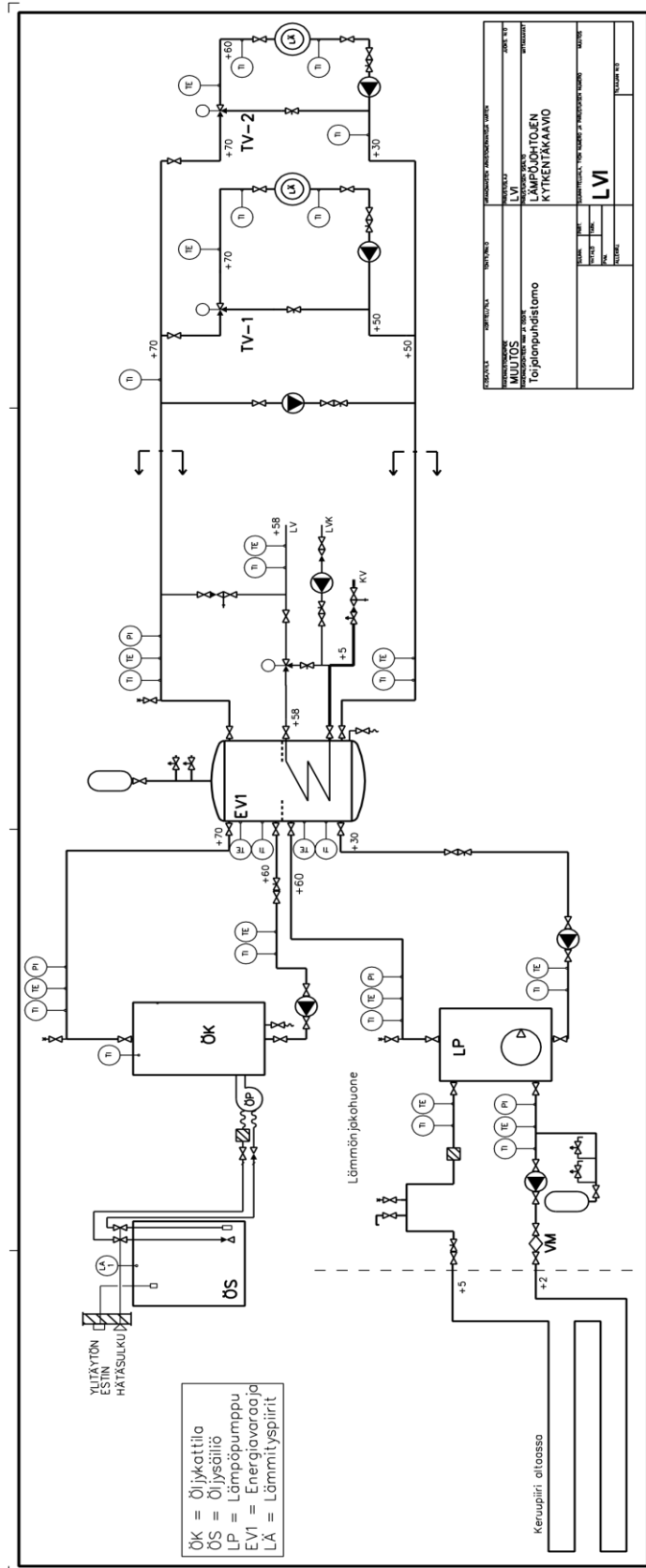
Vesilaitosyhdistys. 2014. Puhtaan veden tekijät. Tiedotusmateriaali. Tulostettu 26.1.2016

ViFlow Finland Oy. Tiivisteelliset levylämmönsiirtimet. Esite. Tulostettu 8.2.2016

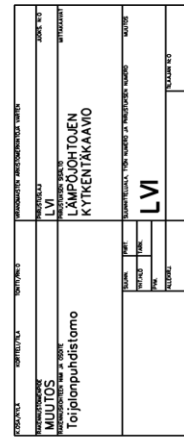
Virta, J & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön Energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy

## LITTEET

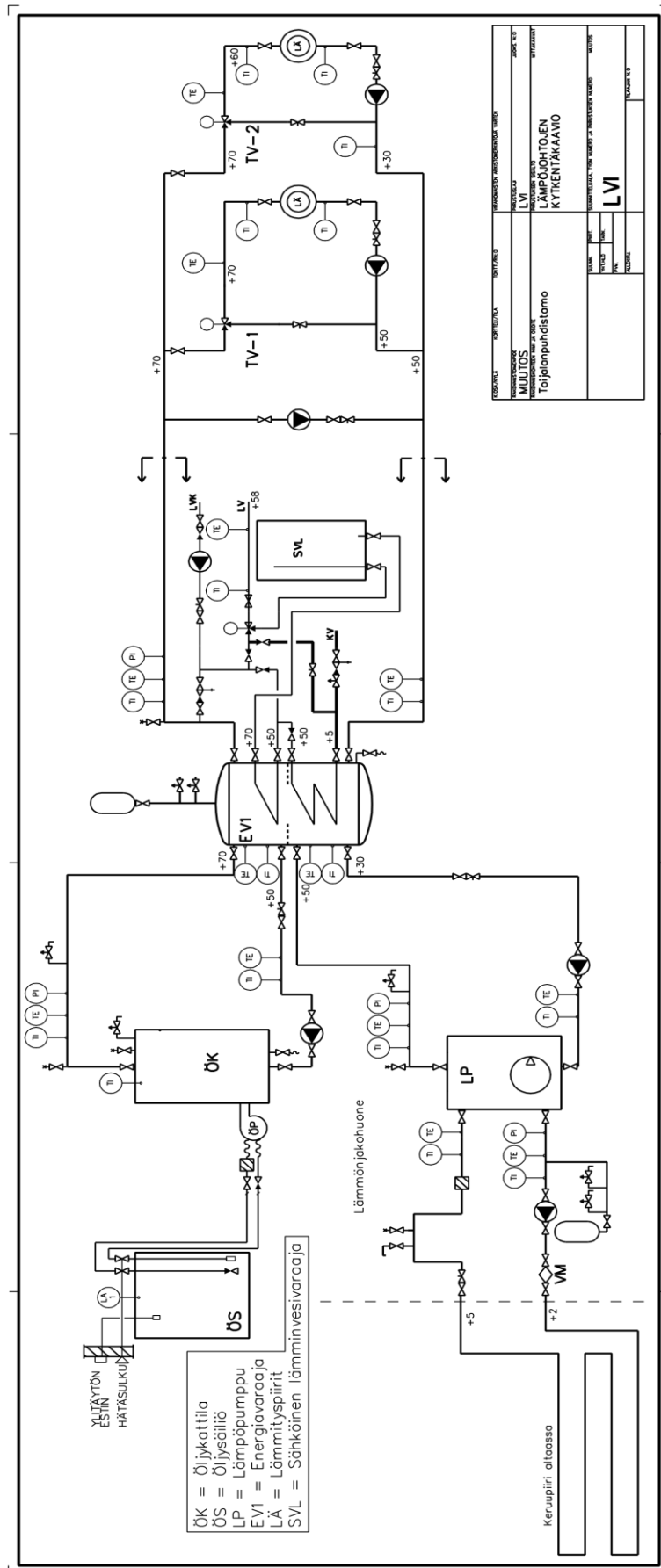
Liite 1. Esimerkkikytkentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 60 °C ja on varustettu keruupiirillä.





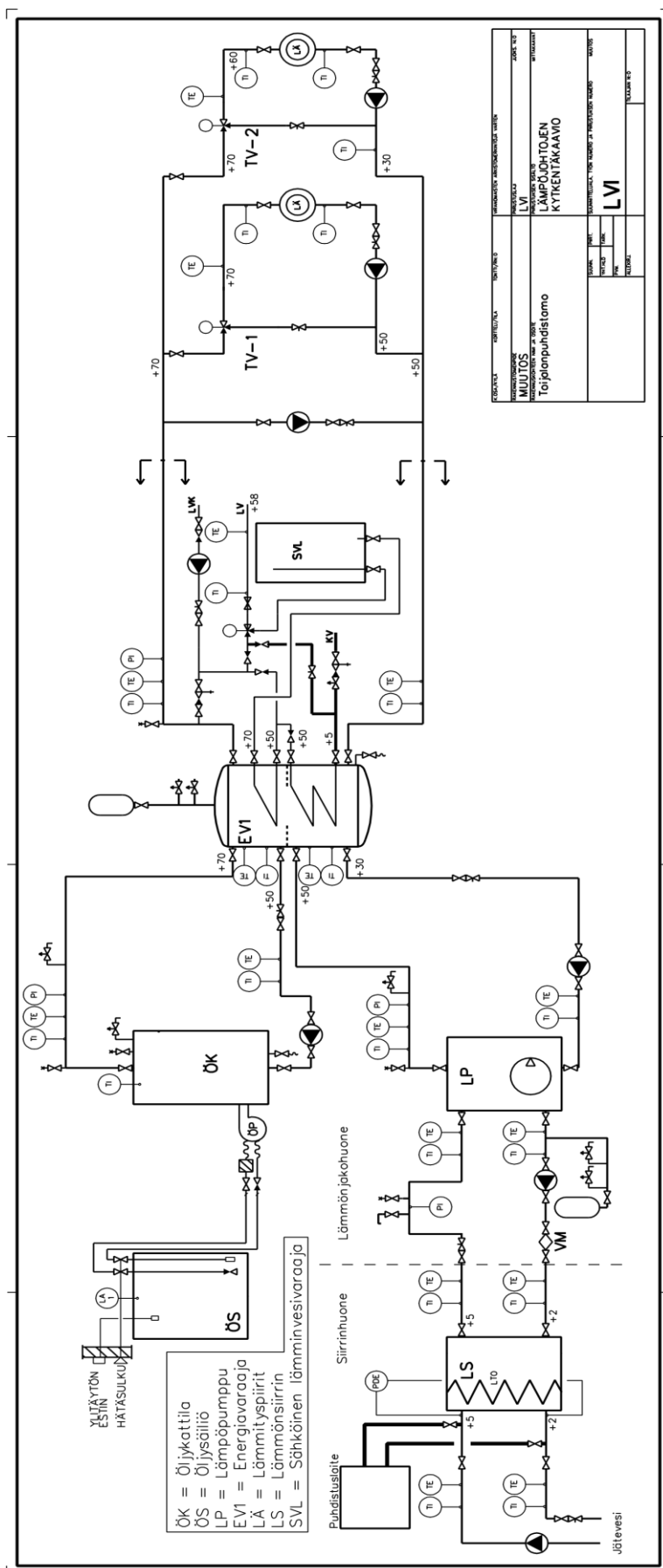








Liite 6. Vaihtoehtoinen esimerkkikytkentä, kun lämpöpumppu on mitoitettu + 50 °C ja on varustettu lämmönsiirtimellä.



Liite 7. Esimerkkikytkentä ilman energiavaraajaa, kun lämpöpumppu on varustettu ke-  
ruuppiirillä.

